



# 社区堆肥综合效益 评估报告



## 社区厨余堆肥平台 版权声明

本报告可免费使用和转载，请勿用于商业用途。如需使用本报告出版，请与社区厨余堆肥平台项目组确认，并寄送一份出版物以作存留。如需引用报告中的数据或图片，请联系作者；如需用于线上展示及传播，请直接使用平台网站/公众号中的原始链接/资源。本报告的评估结果和结论并不代表社区厨余堆肥平台项目组对任何社区的负面意见。本报告中表达的观点不代表资助方的观点。如有不当之处，敬请指正。联系邮箱：[cccp2019@163.com](mailto:cccp2019@163.com)。

## 报告编写团队

张雪华 张诗文 姚怡敏 张啸林 李大宝

# 摘要

随着我国经济发展与城市化进程加速，城市生活垃圾产量逐年攀升。目前年产量已超 2 亿吨，继续以约 8% 的速度增长，给生态环境带来巨大压力。同时，我国垃圾处理行业持续发展，处理能力逐步提升，无害化处理率稳步上升，处理体系向多元协同方向转型。但传统填埋与焚烧方式的弊端显著，垃圾源头分类成效有限，资源化利用率仍然很低。因此，提升垃圾分类普及率、寻找可持续的垃圾回收和再利用、更环保、更高效的垃圾处理新路径已迫在眉睫。

堆肥技术是一项历史悠久、遵循自然规律的有机废弃物处理方式。它不仅能避免有机废弃物填埋产生的甲烷排放，以及焚烧处理带来的污染与碳排放问题，还能通过堆肥产物回归土壤，提升土壤碳汇潜力，支持固废管理领域实现“双碳”目标。在此背景下，社区堆肥具有独特优势：通过就地或就近处置，可减少社区厨余、园林绿化等有机废弃物长途运输的碳排放；通过就地利用堆肥产物，能改善土壤质量、增强碳汇能力；同时还能引导居民主动参与垃圾分类，推动社区践行循环经济。自 2018 年开始在各地社区尝试厨余堆肥以来，我国社区堆肥已具备一定发展基础，社区厨余堆肥平台也已实现多元场景覆盖，培育了众多实践样本。与此同时，社区堆肥的综合价值尚未得到充分体现，缺乏系统的效益评估，因此构建科学的综合评估体系十分必要。

本报告聚焦我国社区堆肥的发展现状与实践管理，重点围绕环境资源、气候变化、经济成本及社会效益四大维度，开展综合效益评估。研究采用多学科交叉方法，以社区厨余堆肥平台近 7 年的实践经验、科学研究成果及专业知识系统梳理为基础。在具体评估层面，环境资源效益评估运用生命周期评估（LCA）方法，系统分析社区堆肥从原料收集到产物应用全生命周期的资源消耗与环境排放情况，并与其他有机废弃物处理工艺进行对比；气候变化方面，基于社区真实数据，从碳支出和碳收益角度分析社区堆肥低碳潜力；经济效益评估通过成本效益分析方法，估算项目相关成本与收益；社会效益评估则结合制度可行性与社会可接受性分析，挖掘社区堆肥的社会发展潜力。本报告的数据主要来源为社区厨余堆肥平台伙伴在多类社区场景的实践案例。数据分析采用量化分析与案例分析相结合的方式，对可量化数据进行统计评估，对具体案例分析其成功经验与面临挑战，为报告结论提供坚实支撑。

为清晰呈现社区堆肥的综合价值，本报告共包括 7 个章节，具体结构如下：

## ● 第一章 中国社区堆肥发展历程与特点

概述我国有机废弃物管理的政策，引入社区堆肥的定义，重点介绍我国社区堆肥发展历程及其规模和适用场景。

## ● 第二章 社区堆肥综合效益评估方法

构建跨学科的综合评估框架，围绕环境资源、气候变化、经济效益、社会效益四大维度展开对社区堆肥的多重效益评估，为后续效益评估奠定基础。

## ● 第三章 社区堆肥环境资源效益评估

重点对社区堆肥系统开展全生命周期环境资源影响分析，并与其他主流有机废弃物处理工艺进行对比，从堆肥产物应用视角分析其资源价值，并阐述社区堆肥的潜在环境风险。

## ● 第四章 社区堆肥气候变化效益评估

基于 12 个开展堆肥的社区真实数据，构建气候变化效益评估模型，重点从社区堆肥碳支出和碳收益角度分析社区堆肥低碳潜力，并为社区堆肥后续发展方向提供建议。

## ● 第五章 社区堆肥经济效益评估

从全生命周期视角评估分析社区堆肥经济效益，阐述成本组成与收益来源，根据结论提出优化成本结构和实现经济可持续发展的建议。

## ● 第六章 社区堆肥社会效益评估

从助力垃圾分类、优化社区治理、环境教育、疗愈与群体包容、社会价值延伸五大板块，系统拆解社区堆肥的多重社会效益逻辑与实践价值，分析其对居民生活、社区发展和可持续发展建设等方面的积极作用。

## ● 第七章 总结与展望

概括社区堆肥的综合效益，强调其作为自下而上参与式过程，在环境、社会、经济等方面的积极影响。展望社区堆肥发展前景，探讨应用潜力及如何推动其成为全球环境解决方案的重要力量。

报告通过理论分析与实践案例结合，全面展现了社区堆肥的综合效益。基于多年实践经验与报告总结，希望能为社区堆肥实践者、相关利益方及政策制定者提供参考，助力其评估项目引入可行性，推动社区堆肥成为社区废弃物管理的有效路径。同时，报告分析过程中提炼的建议，可为我国社区堆肥的后续发展提供思路与方向，促进产业健康成长。也希望能够引导广大实践者更关注技术管理水平与堆肥产物品质的双提升，进一步释放社区堆肥的价值潜力，为我国“无废城市”和“双碳”目标及可持续发展目标贡献力量。



# 快速阅读提示

我国城市生活垃圾总量攀升，传统处理弊端凸显，社区堆肥作为环保创新路径备受关注。本报告专业性较强，内容较多，为帮助不同角色快速筛选所需信息，项目组整理了《快速阅读提示》。

有一定环境科学基础的伙伴或者想要详细了解社区堆肥四大效益评估过程的伙伴建议仔细阅读全文，时间有限的伙伴可以按照下表建议阅读核心章节和重点章节，抓住报告精髓，为后续的深度阅读或实践应用奠定基础，让专业报告更快、更精准地服务于实际需求。

| 角色             | 核心需求               | 核心章节（通用）   | 重点阅读章节   | 阅读目标                |
|----------------|--------------------|--|--|---------------------|
| 街镇干部<br>（决策层）  | 判断项目可行性，把控风险与收益    | 第一章 中国社区堆肥发展历程与特点<br>3.4节 社区堆肥环境资源效益评估小结   | 3.3节 风险预警：了解社区堆肥潜在环境风险，提前规避隐患<br>5.4节 成本收益：精准核算项目成本与收益，评估经济可行性。<br>7.3节 政策对接：结合政策方向，判断项目与“无废城市”、“双碳”目标的契合度 | 快速决策是否引入社区堆肥项目      |
| 社区工作者<br>（执行层） | 落地实操，解决执行中的管理与参与问题 | 4.6节 社区堆肥气候变化效益结果与讨论<br>5.4+5.4节 社区堆肥经济效益核算与效益优化建议<br>6.6节 社区堆肥社会效益结论<br>第七章 中国社区堆肥模式总结与展望 | 3.3节 管理规范：掌握堆肥全流程管理标准，保障项目有序运行<br>6.2节 居民参与：学习引导居民参与的方法，提升社区配合度<br>7.2节 实践指南：获取具体操作指引，直接应用于社区堆肥实践          | 高效推进项目落地，解决实际执行难题   |
| 居民宣传员          | 向居民通俗讲解，激发参与热情     |  | 6.1节 垃圾分类好处：明确堆肥对垃圾分类的助力，传递环保价值<br>6.4节 疗愈价值：挖掘堆肥的疗愈功能，用生活化场景吸引居民参与  | 同时传递社区堆肥优势，带动更多居民参与 |

# 目录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 摘要 .....                       | II |
| 快速阅读提示 .....                   | IV |
| 目录 .....                       | V  |
| 第一章 中国社区堆肥发展历程与特点 .....        | 1  |
| 1.1. 有机废弃物管理政策依据 .....         | 4  |
| 1.2. 关于社区堆肥 .....              | 6  |
| 1.3. 社区厨余堆肥平台 .....            | 8  |
| 1.4. 中国社区堆肥发展特点 .....          | 9  |
| 第二章 社区堆肥综合效益评估方法 .....         | 13 |
| 2.1. 效益评估主要目标与内容 .....         | 15 |
| 2.2. 技术路线与评估方法 .....           | 16 |
| 2.3. 生命周期评估法（LCA） .....        | 17 |
| 2.4. 数据来源 .....                | 19 |
| 第三章 社区堆肥环境资源效益评估 .....         | 21 |
| 3.1. 社区堆肥处理工艺的环境资源效益 .....     | 23 |
| 3.2. 社区堆肥产物的环境资源效益 .....       | 29 |
| 3.3. 社区堆肥的潜在风险评估 .....         | 37 |
| 3.4. 小结 .....                  | 41 |
| 第四章 社区堆肥气候变化效益评估 .....         | 44 |
| 4.1. 堆肥的温室气体的排放源分析 .....       | 46 |
| 4.2. 社区堆肥气候变化效益评估方法与计算模型 ..... | 48 |
| 4.3. 社区堆肥碳排放核算结果 .....         | 57 |



|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 4.4. 社区堆肥碳收益核算 .....           | 66         |
| 4.5. 社区堆肥碳减排效益核算 .....         | 73         |
| 4.6. 结论 .....                  | 79         |
| <b>第五章 社区堆肥经济效益评估 .....</b>    | <b>81</b>  |
| 5.1. 成本分析 .....                | 83         |
| 5.2. 经济收益 .....                | 86         |
| 5.3. 社区堆肥经济效益核算 .....          | 88         |
| 5.4. 结论与效益优化建议 .....           | 89         |
| <b>第六章 社区堆肥社会效益评估 .....</b>    | <b>91</b>  |
| 6.1. 助力垃圾分类 .....              | 93         |
| 6.2. 社区治理优化 .....              | 94         |
| 6.3. 形成特色环境教育模式 .....          | 99         |
| 6.4. 疗愈与群体融合 .....             | 103        |
| 6.5. 社会价值延伸 .....              | 106        |
| 6.6. 结论：成效突出，差异明显，潜力巨大 .....   | 107        |
| <b>第七章 中国社区堆肥模式总结与展望 .....</b> | <b>110</b> |
| 7.1. 本报告的主要结论 .....            | 112        |
| 7.2. 本报告的局限性与深化方向 .....        | 114        |
| 7.3. 本报告的本土化价值与全球化视野 .....     | 114        |
| 7.4. 我国社区堆肥实践指南与展望 .....       | 116        |
| <b>参考文献 .....</b>              | <b>120</b> |
| <b>致谢 .....</b>                | <b>123</b> |

# 1

## 我国社区堆肥发展历程与特点

### 章节看点

- 社区堆肥能助力“无废城市”和“双碳”战略。
- 我国社区堆肥场景多样、设施多种，原料丰富，模式多样。





# 前言

堆肥是一项包容性极强的物质循环利用技术，适用范围广泛。在原料上，可处理多种有机废弃物；在规模上，既能满足每日数百吨的大型商业或工业堆肥需求，也能适配家庭小规模堆肥；在形式上，无需容器自然堆积或借助容器均可，室内外场景均可开展。

当堆肥场景延伸至现代居民的生活、学习及工作公共空间，便形成了本报告所定义的“社区堆肥”。它属于分散式堆肥模式，规模介于家庭堆肥与一定体量的商业或工业化集中式堆肥之间。理论而言，任何在公共区域开展、针对他人产生的有机废弃物进行的堆肥行为，都可纳入社区堆肥范畴。从社区厨余堆肥平台伙伴的实践来看，其堆肥场景已覆盖多类公共空间，主要包括城乡居民住宅区、城市公园、各类学校、企业办公园区及小型农场等。

## 章节目录

1. 有机废弃物管理政策依据
2. 关于社区堆肥
3. 社区厨余堆肥平台
4. 中国社区堆肥发展特点

2023年,我国城市生活垃圾清运量已超过2.54亿吨,比2012年增加了47.39%,城市生活垃圾清运量增速明显。由于城镇化快速发展,生活垃圾激增,清运垃圾能力相对不足,一些城市面临“垃圾围城”的困境。同时,部分处理设施建设水平和运行质量不高,配套设施不齐全,存在污染隐患,影响城镇环境和社会稳定。近年来,垃圾分类在我国各地如火如荼地开展,但居民源头分类率很低,垃圾混收混运的现象十分普遍。

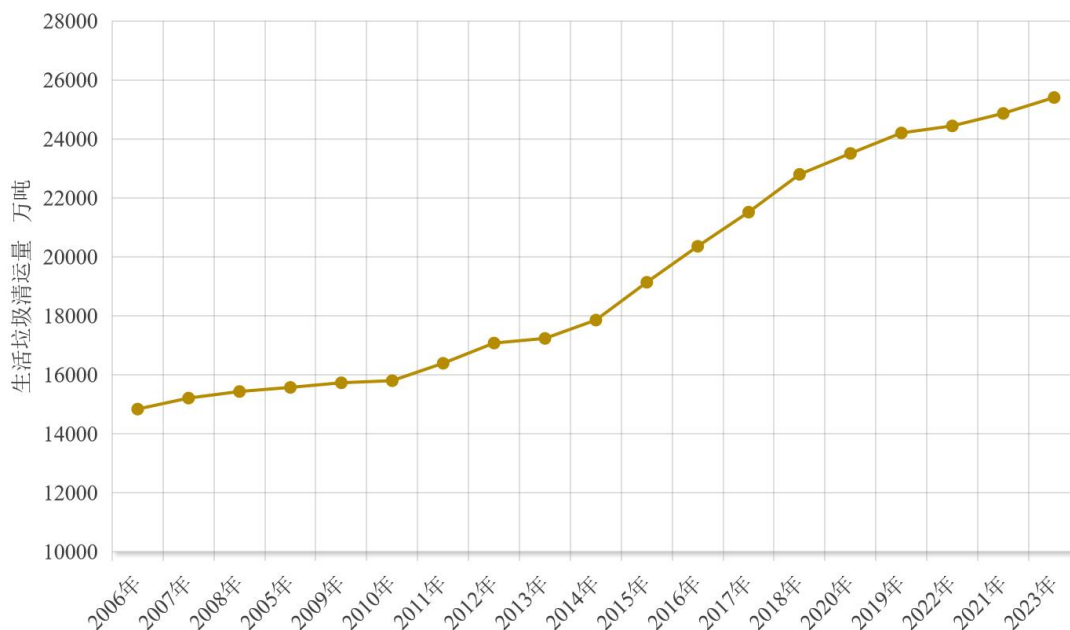


图 1-1 我国城市生活垃圾清运量 来源：国家统计局数据库

生活垃圾被认为是最具开发潜力的、永不枯竭的“城市矿产”，是“放错地方的资源”。垃圾的产生是源于人们没有利用好资源，将自己不用的资源当成垃圾抛弃，这种废弃资源的方式对于整个生态系统的损失都是不可估量的。理想状态下，在垃圾分类过程中，以全产业链思维，分品类构建废弃物闭路循环，分门别类进行资源化利用能够真正做到“变废为宝”。

这其中，如何将占比高达 50%以上的厨余垃圾分拣出来并实现资源化利用，持续成为固废管理领域亟待解决的重要课题。而在城市化进程加快、垃圾处理压力大以及应对气候变化危机的大背景下，包括厨余垃圾在内的有机废弃物的处理已不能仅停留在单一处理层面，而需统筹考量资源化利用效率、气候变化影响、生态系统平衡、社会治理等多元因素，寻求更系统、可持续的解决方案。

但深度调研发现，我国各地在探索厨余垃圾资源化解决方案时，仍存在缺乏合理定位，体制机制不顺；缺乏顶层规划，用地难以解决；缺乏政策支持，产品出路不明；资源化率低，产品无法实现低碳循环；经济成本核算不明，没有经费支持等主要问题。如何以环境友好且资源高效的方式处理这些废弃物，已成为城市可持续发展和生态文明建设中一个紧迫且复杂的议题。

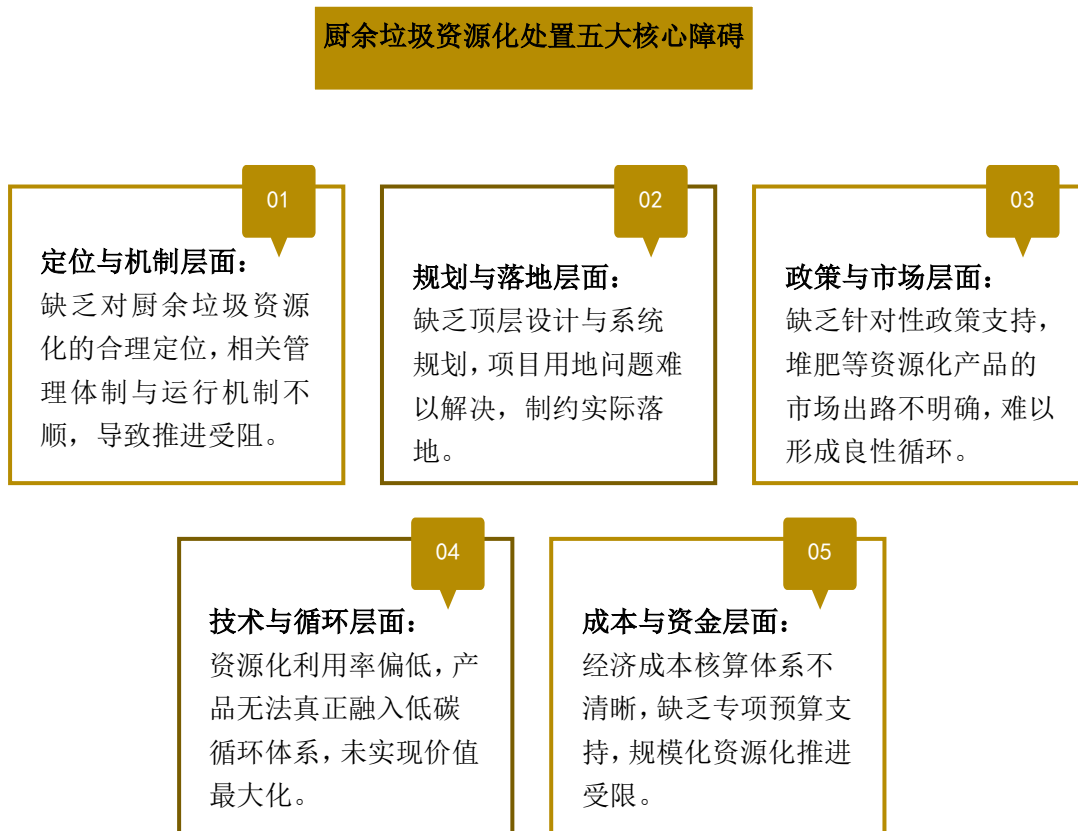


图 1-2 我国厨余垃圾资源化处置过程中的五大核心障碍

## 1.1. 有机废弃物管理政策依据

近年来，我国不断有相关法律法规、相关政策支持各类有机废弃物资源化工作，各地政府也不断重视此类工作，尝试寻找相关解决方案。

- 2017 年 3 月，国务院办公厅发布的《生活垃圾分类制度实施方案》，进一步引导居民自觉开展生活垃圾分类，引导居民将“湿垃圾”与“干垃圾”分类收集、分类投放。有条件的地方，可在居民社区设置专门设施对“湿垃圾”就地处理。
- 2019 年 1 月，国务院办公厅发布的《“无废城市”建设试点工作方案》将“生活垃圾减量化资源化水平全面提升”作为试点城市“无废城市”的建设目标之一。
- 2019 年 6 月 25 日，十三届全国人大常委会第十一次会议分组审议了《固体废物污染环境防治法修订草案》。固体废弃物无害化处理和合理利用在法律上被允许，并且鼓励采取有利于环境保护的固体废弃物处理措施，鼓励开发固体废弃物处理措施，以及购买和使用再生和再利用产品。

- 2020 年 11 月 27 日，住房和城乡建设部等部门印发《关于进一步推进生活垃圾分类工作的若干意见》的通知。推动源头减量，加强分类处理产品资源化利用。鼓励各地采用符合本地实际的技术方法提升资源化利用水平。加快探索适合我国厨余垃圾特性的处理技术路线，鼓励各地因地制宜选用厨余垃圾处理工艺，着力解决好堆肥、沼液、沼渣等产品在农业、林业生产中应用的“梗阻”问题。
- 2021 年 5 月 6 日，国家发展改革委、住房城乡建设部关于印发《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》的通知。有序推进厨余垃圾处理设施建设。按照科学评估、适度超前原则，以集中处理为主，分散处理为辅，稳妥有序推进厨余垃圾处理设施建设。
- 2021 年 10 月 24 日，国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知。抓住资源利用这个源头，大力发展循环经济，全面提高资源利用效率，充分发挥减少资源消耗和降碳的协同作用。加强大宗固废综合利用。加快推进秸秆高值化利用，完善收储运体系，严格禁烧管控。
- 2021 年 11 月 2 日，中共中央、国务院印发《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》。持续打好农业农村污染治理攻坚战。稳步推进“无废城市”建设。健全“无废城市”建设相关制度、技术、市场、监管体系，推进城市固体废物精细化管理。
- 2022 年 1 月 19 日，生态环境部、农业农村部和住房和城乡建设部等部门关于印发《农业农村污染治理攻坚战行动方案（2021—2025 年）》的通知。推行农村生活垃圾分类减量与利用。加快推进农村生活垃圾分类，探索符合农村特点和农民习惯、简便易行的分类处理方式，减少垃圾出村处理量。协同推进农村有机生活垃圾、厕所粪污、农业生产有机废弃物资源化处理利用。
- 2022 年 11 月，住房和城乡建设部发布《关于开展城市园林绿化垃圾处理和资源化利用试点工作的通知》，全国 24 个省（自治区、直辖市）共 60 个城市参与试点工作。
- 2023 年 2 月，中共中央、国务院《关于做好 2023 年全面推进乡村振兴重点工作的意见》提出，推动农村生活垃圾源头分类减量，及时清运处置。推进厕所粪污、易腐烂垃圾、有机废弃物就近就地资源化利用。
- 2024 年 11 月，中共中央办公厅、国务院办公厅印发《粮食节约和反食品浪费行动方案》。方案中提出：建立健全厨余垃圾分类收集、投放、运输、处理体系，推动厨余垃圾资源化利用和无害化处理。
- 2025 年 1 月，中共中央、国务院《关于进一步深化农村改革 扎实推进乡村全面振兴的意见》。方案中提出：加强农村生态环境治理。深入打好农业农



村污染治理攻坚战，持续推进农村人居环境整治提升，建设美丽乡村。推动农村生活垃圾源头减量、就地就近处理和资源化利用。强化农业面源污染突出区域系统治理，加强畜禽粪污资源化利用和水产养殖尾水处理。

- 2025年8月，中共中央、国务院《关于推动城市高质量发展的意见》鼓励推动城市发展绿色低碳转型，其中（十二）践行绿色低碳生活方式。深入推进城市生活垃圾分类，推动分类网点与再生资源回收网点衔接融合。

## 1.2. 关于社区堆肥

在上述背景下，好氧堆肥作为一种将有机废弃物转化为宝贵土壤改良剂（腐殖质）的资源化技术，完美契合了从“线性经济”向“循环经济”转型的时代要求，因而被广泛推广和应用。但就目前而言，在垃圾分类还未全面推进的前提下，针对厨余垃圾的大型集中化和高度机械化的堆肥厂往往因原料分类不完全、生产出的堆肥产品品质不合格或运营成本高而被遗弃。

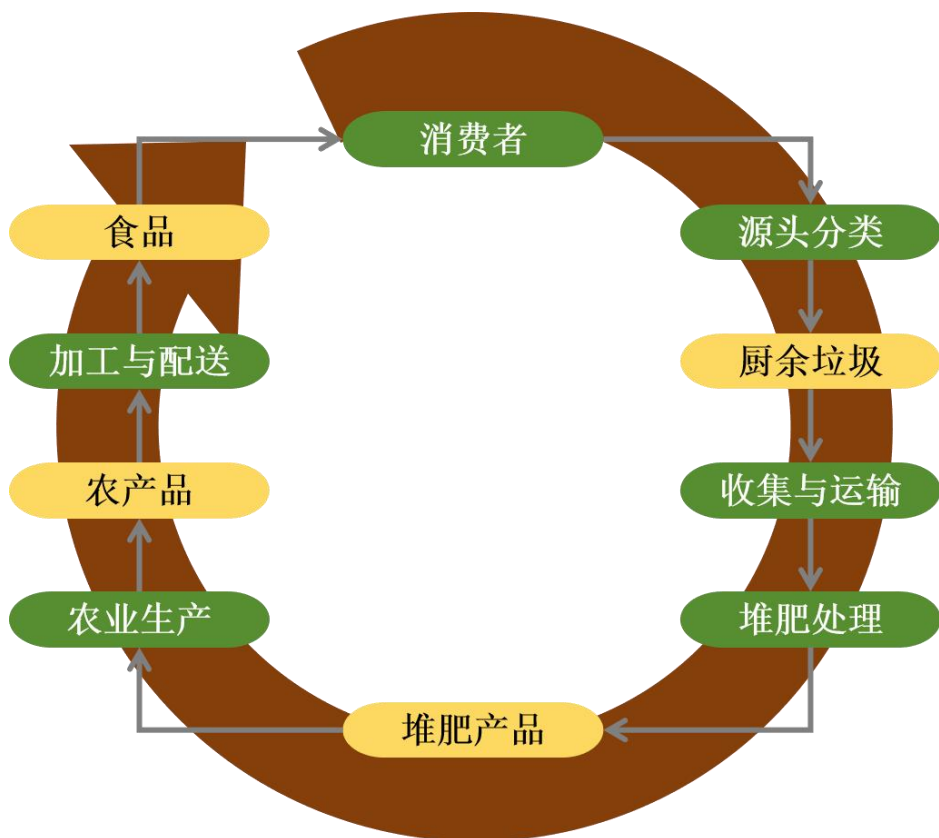


图 1-3 基于源头分类的食物循环

当堆肥场地延伸至现代居民的生活、学习及工作公共空间，便形成了本报告所定义的“社区堆肥”。它属于分散式堆肥模式，规模介于家庭堆肥与一定体量的商业或工业化集中式堆肥之间。理论而言，任何在公共区域开展、针对他人产

生的有机废弃物进行的堆肥行为，都可纳入社区堆肥范畴。概况来说，社区堆肥是指在社区或街区层面，对经过分类的有机废弃物就地进行堆肥处理。集中式堆肥和社区堆肥的主要差异见表 1.1。

社区作为人们居住生活乃至工作的基本单元，是人口活动及其碳排放的重要场所，是践行低碳理念、构建低碳生活、实现“双碳”目标的关键支撑。社区堆肥提供了一条就地堆肥以避免长途运输造成污染、减轻终端处理处置压力、就地使用堆肥产物提高土壤质量和碳汇潜力、提高资源循环利用的技术路径。

一方面，2023 年以来，很多地区和社区垃圾分类取消督导员、守桶员和相应的激励措施后，居民的垃圾分类意愿降低，厨余垃圾多数和其他垃圾混收混匀后进入焚烧场，资源化率大大降低，未能积极响应“无废城市”和“双碳”国家战略等政策。社区堆肥通过在个体与社区层面践行循环经济、推动公众低碳意识与行为改变，培养居民对厨余垃圾资源化的认知，提高垃圾分类率、破解社区废弃物处理困难的源头问题。

另一方面，我国土壤质量形势严峻，土壤有机质含量较低，有机肥料及有机土壤调理剂缺口大。社区堆肥将厨余垃圾转化为有机肥料或者有机土壤调理剂，将厨余垃圾处理与资源化、有机肥料生产与应用完美结合，其意义不仅可以实现垃圾的无害化回收、减少环境污染，还能作为高效有机肥改良土壤、培肥地力、提高土壤养分活力、净化土壤生态环境、保障农作物优质高产高效益，一箭三雕，具有重要意义和价值。

表 1.1 社区有机废弃物集中式堆肥与社区堆肥差异比较

| 集中式堆肥系统                           | 社区堆肥系统  |
|-----------------------------------|---|
| 依赖高度机械化技术。                        | 技术简单，依靠人力劳动。                                    |
| 对先进机械的大量投资。                       | 低成本和当地可用材料。                                     |
| 高运行和维护成本以及操作和维护的高度专业技能。           | 相对较少的维护成本和较低的技能要求。                              |
| 居民的互动和参与较少。                       | 促使居民主动进行垃圾分类，减少待处理的固体垃圾量，增加可回收物的价值，提高社区公众的环保意识。 |
| 运输成本较高，因为所有废物都需要运送到通常位于远离城市的处置设施。 | 本地处理与堆肥产物利用，降低运输成本。                             |
| 由于未分离的垃圾量大，污染风险高，堆肥质量较差。          | 堆肥产物的品质好，因为废物被有效地分离两次（源头分类+堆肥前分拣），污染的风险也最小化。    |

总体而言，尽管目前我国尚无直接与社区堆肥相关的法律法规和政策，但是社区堆肥所提倡的低能源投入、就地变废为宝等原则，其背后蕴含的减量化、资

源化逻辑，完全符合甚至有助于促进我国相关法律及政策规定所提出的垃圾分类和全面推进厨余垃圾资源化利用、“无废城市”和“双碳”目标等内容及其落地实施。

### 1.3. 社区厨余堆肥平台

2018年起，万科公益基金会和南京大学（溧水）生态环境研究院共同发起“社区厨余堆肥试点项目”。该项目致力于在中国探索和推广社区堆肥的中国模式，以提供技术和管理支持为主要手段，以居民产生的厨余垃圾与就地取材的园林绿化垃圾为主要原料，扶持和支持有条件有意向的城乡社区尝试就地厨余堆肥。

项目同步搭建起国内首个专业化“社区厨余堆肥平台”。项目从7省9市14个堆肥点位起步，历经近7年的努力，目前拓展至覆盖20省/直辖市41城市（地级市）的108个社区（社区分布见图1-4），覆盖城市居民小区、农村、学校、工业园区、公园、农场、海岛、自然保护区等各类场景。通过科研指导与社区实践，项目成功地将基于自然、立足社区的有机废弃物堆肥技术和管理模式引入城乡社区，基本打通“厨余源头分类—堆肥化处理—就地使用”的物质闭环循环利用全过程技术链条，且公众接受度和参与度较高，形成了形态多样的堆肥体系。

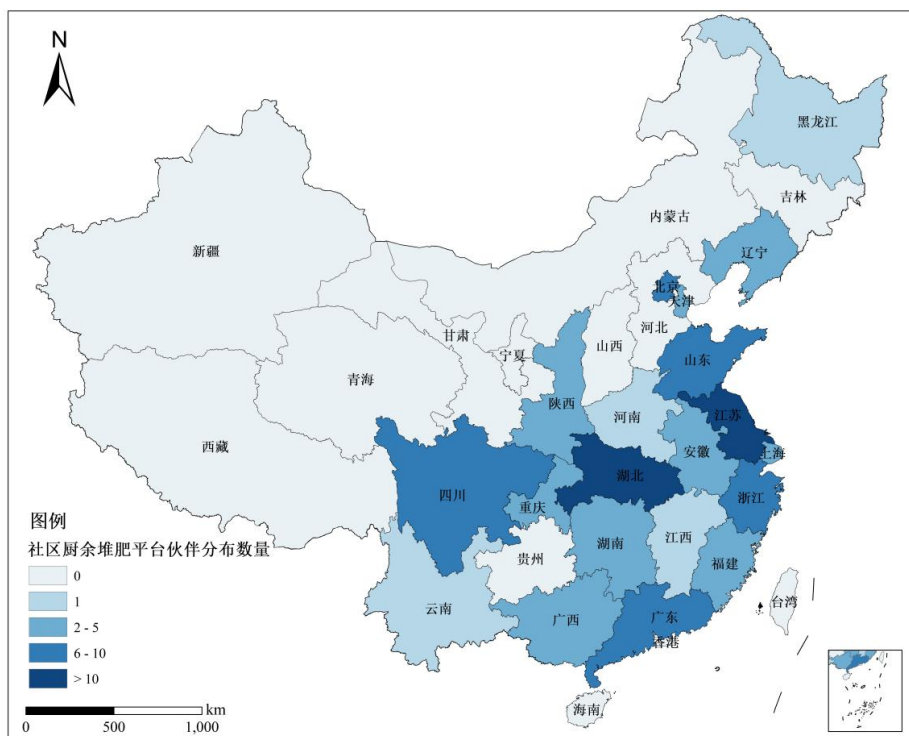


图 1-4 社区厨余堆肥平台伙伴分布图

## 1.4. 中国社区堆肥发展特点

总体来说，平台支持的社区堆肥，场景多样、设施多种，原料丰富，操作灵活，堆肥过程管理规范，堆肥产物经检测基本实现安全无害化，堆肥产物就地施用效果良好。平台伙伴通过社区堆肥，将垃圾分类、社区治理、环保教育、生态艺术、流域面源污染防治、乡村振兴等各方面结合发展，社区堆肥在中国各地悄然兴起，渐成星火燎原之势。

### （1）原料丰富，以厨余和园林绿化废弃物协同为主

平台伙伴的社区堆肥原料丰富，以社区内产生的有机废弃物为主，包括厨余垃圾、园林绿化废弃物、秸秆、畜禽粪便等。其中城市居民社区堆肥以社区内外产生的居民厨余垃圾和园林绿化废弃物协同为主，农村则以厨余垃圾/畜禽粪便和秸秆为主。

厨余垃圾又称湿垃圾，包括居民家庭厨余垃圾、社区内外商铺产生的餐厨垃圾和其他厨余垃圾等，一般不包括餐饮行业产生的高油盐餐厨垃圾。厨余垃圾含水率高，热值低（一般在 2100kJ/kg 左右），远不能满足 GB/T18750-2022《垃圾焚烧发电的热值要求（生活垃圾焚烧炉及余热锅炉）》规定的低位热值要求 4500kJ/kg），如果与其他垃圾一起焚烧会导致燃烧不充分而产生二噁英等有害物质；也不宜和其他垃圾一起进行卫生填埋，否则会产生大量渗滤液，对环境造成二次污染。但同时，厨余垃圾淀粉、纤维素、蛋白质、脂类和无机盐等含量丰富，氮、钾、钙、磷以及各种微量元素齐全，其资源化属性能在堆肥产物中体现。



图 1-5 堆肥原料：平台伙伴社区堆肥所用的厨余垃圾实拍图

园林绿化废弃物，也称为园林垃圾或绿色垃圾，主要是指园林植物自然凋落或人工修剪所产生的枯枝、落叶及其他植物残体等。园林绿化废弃物具有产生量大、利用率低和收集成本高的特点，且其含有大量的木质纤维素和其他有机成分，是一种可以参与物质再循环的资源。



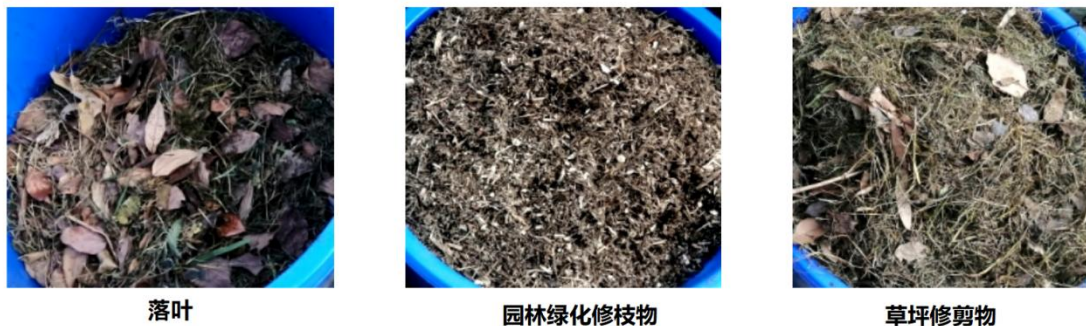


图 1-6 社区堆肥常用的园林绿化废弃物原料

### (2) 设施多样，结合社区条件因地制宜

社区堆肥设施大小不一、材料多样、造型多种，一般来说其没有特定的分类标准。各社区往往结合自身场景特点选用适配的无动力堆肥设施。常见有通风供氧效果较好的金属网材质堆肥箱或木质堆肥箱、或造价便宜的砖砌堆肥池/混凝土堆肥池、或保温性能较好的密闭式堆肥设施等。堆肥设施因其透气能力和规模大小不同影响发酵速率、堆体湿度、堆体温度变化等主要堆肥过程指标；同时也影响堆肥产物特性。堆肥实践工作者往往依照社区类型、处理规模、空间适应、堆肥管理操作工作量选择合适的堆肥设施。



图 1-7 社区堆肥常见堆肥设施

### (3) 发起缘由不同，形成特色鲜明的管理模式

基于平台伙伴实践案例，社区堆肥活动的发起缘由并非单一驱动，而均以“基础逻辑+驱动逻辑”为共同前提，最终形成多样化的堆肥实践模式。这也能在社区堆肥从启动规划到运营优化再到经验推广全流程提供精准指导。

项目组通过对平台伙伴开展社区堆肥的缘由/诉求调研结果进行热词分析，从而提炼不同频率热词背后的需求逻辑。分析发现，平台伙伴开展社区堆肥的差

异，本质是不同社区条件和目的侧重不同——海岛社区侧重地理适配，城市居民小区侧重环境需求，学校社区侧重教育融合。

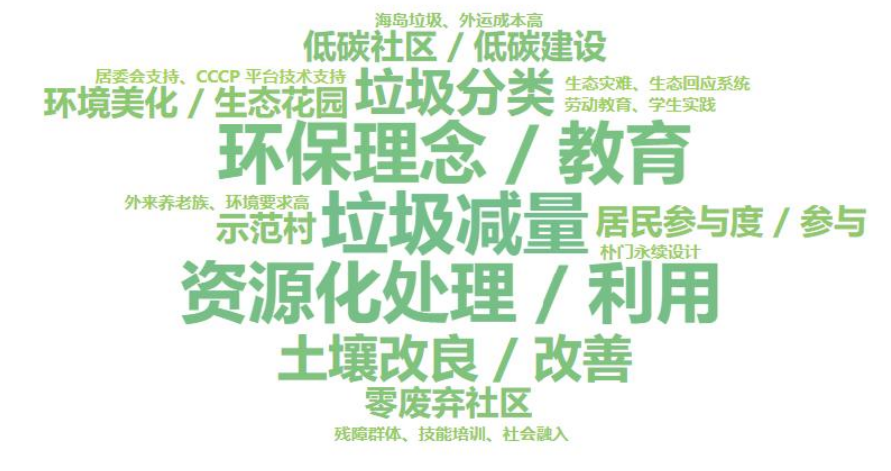


图 1-8 社区堆肥发起缘由热图

无论社区类型差异，所有堆肥的社区均围绕解决垃圾痛点、响应政策方向、实现生态与教育价值三大核心目标发起社区堆肥，构成堆肥实践的基础逻辑。

- **垃圾资源化与减量化：**解决厨余垃圾、园林绿化废弃物、秸秆等产生量大、难处理的垃圾痛点，避免传统丢弃造成的资源浪费，减少外运处理成本与环境压力，实现“变废为宝”的循环利用。



图 1-9 以厨余垃圾为主要原料的社区堆肥系统

- **政策响应与示范建设：**紧跟垃圾分类、“无废城市”、“双碳”目标、“低碳”、“乡村振兴”等政策导向，主动承担环保责任，部分社区还以打造示范村、零废弃社区为目标，发挥标杆作用。
- **生态改善与理念传播：**通过堆肥改良土壤质量，助力社区植被养护、菜园种植或生态花园建设；同时结合环保教育、劳动教育等，提升居民（含学生）的垃圾分类意识与低碳理念，推动社区环保氛围形成。

除共性逻辑外，不同社区因人口结构、地理环境、核心目标差异，形成独特的发起动因，也让堆肥从单一垃圾处理项目成为服务社区生态、教育、社会融合的综合载体。

- **人口结构特殊型社区：**劳动教育融合社区将堆肥纳入课程，让学生参与全流程，实现教育与环保双赢；残障友好社区将堆肥与残障帮扶结合，通过技能培训助残障人士融入社区，实现“环保+公益”双重目标。
- **地理环境特殊型社区：**海岛、偏远农村社区因地理限制，垃圾外运成本高，社区堆肥能兼顾降低外运成本与改善环境，成为解决其厨余垃圾处理难题的优先推荐方案。
- **目标导向特殊型社区：**生态修复导向社区的土壤状况严峻，植物难以生长，发动堆肥以改良土壤，重建美好家园为主要目标；社区治理导向社区以堆肥践行相关理念，吸引居民共建共享，以社区居委会发动为主。



图 1-10 浙江舟山青浜岛堆肥中心和成都府城社区堆肥点



# 2

## 社区堆肥效益评估方法

### 章节看点

- 本报告主要从环境资源、气候变化、经济效益、社会效益四个方面展开效益评估。
- 主要使用生命周期评估法（LCA），评估数据主要来自于社区厨余堆肥平台伙伴的实践案例。





# 前言

为挖掘社区堆肥的潜在价值，本报告构建跨学科综合框架，系统量化其相较于填埋、焚烧等传统垃圾处理方式的综合优势，为堆肥实践者、参与者及利益相关者提供决策支撑。

效益评估围绕环境资源、气候变化、经济效益、社会效益四大维度展开，采用多学科交叉方法论体系。通过生命周期评估分析资源环境与气候变化效益，借助成本效益分析验证经济可行性，结合制度可行性与社会可接受性分析，进一步挖掘社区堆肥的社会效益潜力，以确保研究的全面性与深度。

## 章节目录

### 1.效益评估主要目标与内容

### 2.技术路线与评估方法

### 3.生命周期评估法(LCA)

### 4.数据来源

## 2.1. 效益评估主要目标与内容

本报告通过从环境资源、气候变化、经济、社会四大维度评估社区堆肥综合效益，为社区堆肥实践者、相关利益方及政策制定者提供参考。

### 2.1.1. 主要目标

本报告提出了一套跨学科综合框架，旨在系统量化社区堆肥相对于传统垃圾处理（如填埋和焚烧）的综合优势，揭示其长期被低估的潜力，并为社区堆肥实践者、参与者及其他利益相关者提供决策依据。具体目标包括：

（1）识别和量化环境资源效益（如污染物减排和资源循环）、气候变化效益（如温室气体减排）、经济效益（如成本节约和创造收益）以及社会效益（如社区治理和教育价值）；

（2）评估社区堆肥项目的可持续性，识别潜在优化空间（如工艺改进和成本控制）；

（3）为政策制定者和社区实践者提供判断依据，推动社区堆肥作为社区废弃物管理路径之一。

### 2.1.2. 主要内容

本报告效益评估主要从环境资源、气候变化、经济效益、社会效益四个方面展开评估：

（1）**环境资源效益：**针对社区堆肥处理工艺以及社区堆肥产物应用两个环节，分别从污染物排放、物质资源消耗、再生资源能源替代等方面展开分析，进而与传统处理方式对比评估社区堆肥系统的环境资源价值。

（2）**气候变化效益：**针对社区堆肥气候变化效益提供系统的评估框架，用于整体衡量社区堆肥在碳减排与固碳方面的效益。

（3）**经济效益：**针对社区堆肥从建设到运营的成本，以及社区堆肥产物经济价值、带来的社区运维成本间接减少情况进行详细解析，并针对如何优化经济成本结构提出建议。

（4）**社会效益：**从助力垃圾分类、社区治理优化、环境教育模式、疗愈与群体融合、社会价值延伸五大板块，系统拆解社区堆肥的社会效益逻辑与实践价值。

## 2.2. 技术路线与评估方法

本报告采用多学科交叉的方法论体系，整合多种评估工具以确保研究的全面性与深度。重点包括：通过生命周期评估法（LCA）分析社区堆肥的环境资源效益和气候变化效益；通过经济效益分析评估社区堆肥的经济可持续性；通过分析参与过程的制度可行性和社会可接受性和公众参与情况，来验证社区堆肥实践过程的社会价值与潜力。技术路线见图 2-1。

严格来说，气候变化属于环境影响的其中一个类别，本报告为系统分析社区堆肥的气候影响，单独一章展开阐述。

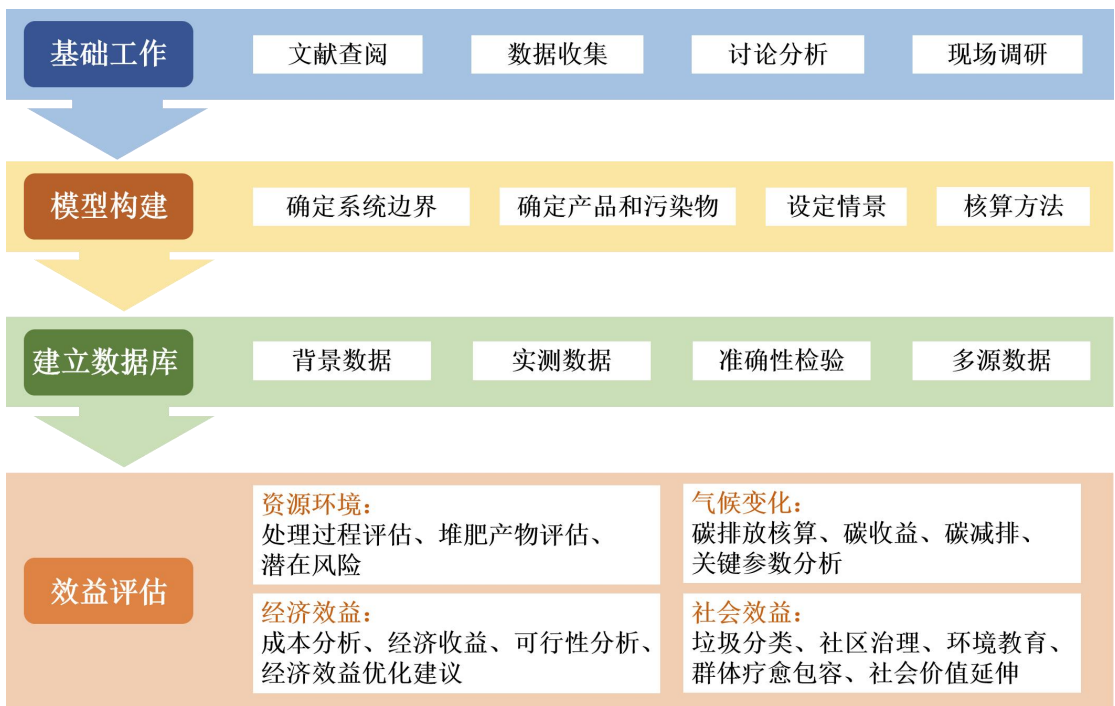


图 2-1 研究技术路线

在此基础上，构建了以 LCA 为框架、数据驱动在社区堆肥综合效益评估模型。模型以社区特异化参数输入为核心，辅以区域化数据库匹配完善与校准数据：前者涵盖厨余产生量、工艺条件、运输方式、电力排放因子等，确保贴合社区实际；后者在参数缺失或不确定时，依据区域交通里程、电力能源结构、土地利用及堆肥产物去向等信息进行补充与修正。该机制不仅增强模型输入的完整性和科学性，还保证不同社区之间的结果具有可比性。模型可系统核算社区堆肥的环境资源效益、气候变化效益与经济效益，为多尺度评估与政策制定提供支撑。

**环境资源与气候变化效益评估：**核心方法为生命周期评估法（LCA），系统量化社区堆肥生命周期过程中（从原料收集到产品应用）的污染排放、资源耗竭和气候变化等环境影响。详细 LCA 评估方法见 2.3 节，详见第三、四章。

**经济效益评估：**采用成本效益分析法（cost-benefit analysis），全面核算项目的初期建设成本、持续运营成本，并与直接经济收益（如产品价值）和间接经济收益（如减少的垃圾处理费）对比，评估其经济可行性和有效性。详见第五章。

**社会效益评估：**采用社会学研究方法，分析参与过程的制度可行性和社会可接受性，来验证社区堆肥实践过程的社会价值与潜力。通过调研征询社区管理者、物业、居民等多方利益相关者的意见，评估垃圾分类效益、社区治理优化潜力、对环境教育的贡献与疗愈群体包容功能。详见第六章。

## 2.3. 生命周期评估法（LCA）

**生命周期评估法（LCA，Life Cycle Assessment）**是评估产品全生命周期环境影响的标准化工具。本报告运用 LCA 框架，可系统客观量化社区堆肥相比传统垃圾处理（如填埋、焚烧及厌氧发酵）在环境资源与气候变化方面的综合效益（如图 2-2）。



图 2-2 社区堆肥与传统处理方式系统边界

本框架遵循 ISO 14040/14044 的常规 LCA 流程（目标与范围→清单→影响→解释），核心在于“区域化”，根据当地收集到的数据对其他数据进行“区域化”修正处理，识别分析过程中的关键因子并将结果回馈到模型修正中，迭代提高评估的准确性与决策相关性。

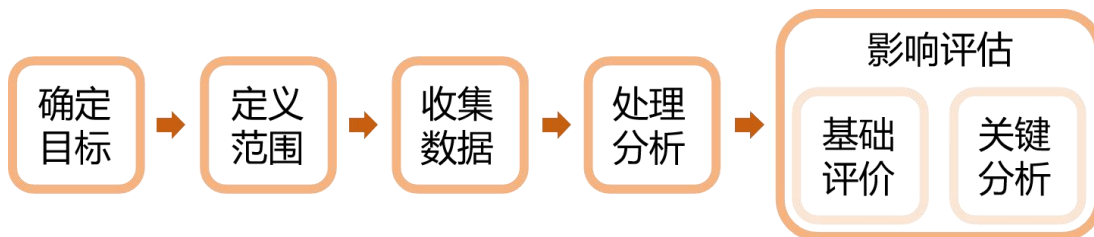


图 2-3 区域化生命周期评估框架

### 2.3.1.目标与范围界定

通过 LCA 研究的目标是识别社区堆肥全生命周期的关键影响环节，并量化其相对于基准情景的减排与资源节约潜力。

功能单位：处理 1 吨（t）湿重垃圾（厨余垃圾、园林绿化废弃物等）。

系统边界：采用从摇篮到坟墓的视角，涵盖源头收集与运输、处理过程、产物处置利用三个核心阶段。为确保评估的严谨性，传统处理系统的边界与之相同（表 2.1）。

表 2.1 社区堆肥和传统处理系统边界

| 阶段     | 社区堆肥系统                                    | 传统处理系统（填埋/焚烧）   |
|--------|---|---|
| 原料源头收集 | 社区内厨余分类收集（人工/小型收集车）→社区堆肥点（短距离运输，通常<5km）   | 社区内垃圾分类收集/社区内垃圾混合收集→市政垃圾转运站→填埋场/焚烧厂（长距离运输，通常 20~50km） |
| 处理过程   | 堆肥工艺（粉碎→添料→静置发酵→翻堆→腐熟，含预处理能耗、辅料消耗）        | 填埋（产生甲烷、渗滤液）<br>焚烧（高温燃烧产热、烟气/飞灰）                      |
| 产物处置利用 | 堆肥产物→社区绿化/家庭园艺（替代或部分替代商品化肥）；少量不能降解残渣→合规处置 | 填埋：填埋气（部分回收发电/直接排放）、渗滤液处理；<br>焚烧：发电上网/余热利用、飞灰固化处置     |

社区堆肥系统核算研究边界细分如下：

#### （1）原料源头收集与运输

社区厨余垃圾和园林绿化废弃物的分类收集是以人工或小型电动车为主，运输距离通常不超过 5km。本报告在核算中分别对不同运输方式进行估算。相比之下，集中式处理路径涉及统一运输至区域性填埋场或焚烧厂，运输距离通常为 20~50km。



### (2) 处理过程

社区堆肥的处理过程破碎、分拣、原料添加、发酵、翻堆等过程。堆肥原料（如厨余、园林绿化垃圾、落叶等）使用机械破碎，会消耗能源，这部分会有温室气体排放；如果人工破碎或不进行破碎，则没有能源相关温室气体排放。社区堆肥一般采取自然好氧发酵工艺，如果没有使用耗能的机械曝气和翻堆，则没有相关的间接能耗使用产生的温室气体排放。需要注意的是，如果厨余收集后没有及时进行堆肥，存放过程中会有少量渗滤液和温室气体排放，其受环境温度影响显著。若实现即收即堆，则该环节的环节影响变小。

### (3) 产物处置利用

在社区堆肥的系统边界内，社区堆肥产物的利用主要产生两种独立且显著的环境效益：替代效应（通过系统扩展核算）和固碳效应。为避免重复计算并确保方法学的透明度，本报告将对这两种效益的机理和核算方法进行分别阐述。

## 2.3.2. 结果解释与局限性

本研究采用 ReCiPe2016 的中点—终点评估相结合策略，结合 LCI（生命周期清单，life cycle inventory）与 LCIA（生命周期清单评估，Life Cycle Inventory Assessment）结果，评估社区堆肥的环境资源、气候变化效益，并基于生命周期物料清单开展经济效益分析，识别排放热点与可优化环节，并明确方法假设与局限，为社区层面决策提供支撑。

**本研究客观承认研究结果的局限性和不确定性：**

**数据质量依赖度高：**若社区堆肥规模小（如 $<100\text{kg}/\text{天}$ ），能耗、排放数据难以精准统计，可能导致结果偏差（建议采用区域平均数据+现场抽样结合）。

**区域差异显著：**各地区原料差异显著，寒冷地区堆肥需额外保温能耗，多雨地区渗滤液量增加，需结合本地条件调整评估参数。

## 2.4. 数据来源

本报告所用数据主要通过社区厨余堆肥平台实践案例现场调研、问卷调查和样品抽检获取，同时采用学术文献数据作为补充，综合构建结构化数据库，以支撑模型计算和情景分析。主要数据及获取方法见表 2.2。

**表 2.2 社区堆肥效益评估主要数据来源**

| 数据类别        | 数据内容   | 数据来源    | 说明                 |
|-------------|--|---------|--------------------|
| 社区基本信息      | 收录社区人口数量、家庭户数、社区面积、绿化或耕作面积、厨余产生率等  | 问卷、实地调研 | 用于估算厨余产生量和堆肥潜力     |
| 社区废弃物管理基本情况 | 社区厨余垃圾产生量（公斤），垃圾分类情况，以及进入堆肥的比例、可用的辅料种类   | 问卷、实地调研 | 用于判断堆肥原料供给与配比      |
| 社区堆肥基本情况    | 记录堆肥设施设计处理能力（吨/年）与实际运行负荷，堆肥产出量，剩余未堆肥部分去向（如进入填埋或焚烧设施）<br>建立堆肥运行日志，记录每批次投入厨余量、辅料比例、堆肥温度和含水率变化、翻堆频率、堆肥周期天数等。详细记录堆肥产出，通过持续监测，掌握堆肥过程动态，为计算温室气体排放提供实测依据。 | 问卷      | 为温室气体排放与能效分析提供基础数据 |
| 堆肥产物采样检测分析  | 成品堆肥采样检测：有机质、含水率、氮/磷/钾含量、稳定性   | 实地监测    | 为替代化肥和养分回收分析提供依据   |
| 土壤采样分析      | 定期采集施用堆肥前后土壤样品，检测土壤有机碳含量，为固碳效益的评估提供直接数据支持  | 实地监测    | 用于评估土壤固碳效益         |
| 堆肥产物利用数据    | 收集堆肥产品的用途（社区花园、绿地施肥等）和施用频次。记录每次施肥的堆肥用量以及替代的化肥种类和数量（若有），为后续估算替代化肥减排提供数据支持。  | 问卷      | 支撑化肥替代减排核算         |
| 环境与管理参数     | 包含当地气候条件（年均气温、降雨量）和堆肥场地条件（场地类型、通风方式）等。本地数据库还应保存相关排放因子初值（如来源于文献或指南的 $\text{CH}_4/\text{N}_2\text{O}$ 排放因子），以及运输距离、车辆燃油类型等用于计算物流排放的数据。               | 文献及网络搜索 | 为生命周期排放计算提供边界条件    |

# 3

## 社区堆肥环境资源效益评估

### 章节看点

- 社区堆肥在有机废弃物处理的污染排放、物料能耗消耗和再生资源能源替代等方面均展现出显著优势，是多种有机废弃物处理路径中整体绩效最优的技术之一，且其潜在风险在规范化管理下可有效控制。
- 社区堆肥收集运输距离是集中运输距离的 **1/10**。
- 社区堆肥产物可部分替代化肥，其养分价值可达 **200~600 元/吨**，每吨堆肥产物可达替代化肥 **148.7kg**。



# 前言

我国废弃物处理体系正逐步从“以焚烧和填埋为主”向“焚烧、厌氧、堆肥多元协同”转型。不同垃圾处理工艺在物质资源需求、能源消耗和环境影响上差异显著。

本章着重针对社区堆肥系统开展全生命周期的环境资源影响分析，着重将社区堆肥处理工艺与主流有机废弃物处理工艺进行对比分析，分别从污染排放、物料能耗消耗和再生资源能源替代等方面展开分析；同时，从堆肥产物应用的视角出发，对比堆肥产物从生产至应用与化肥使用的效果差异和资源环境差异。此外，本章对社区堆肥的潜在环境风险进行归纳阐述，以提示大家对社区堆肥规范管理的重视。

## 章节目录

- 1.社区堆肥处理工艺的环境资源效益
- 2.社区堆肥产物的环境资源效益
- 3.社区堆肥的潜在风险评估
- 4.小结



### 3.1. 社区堆肥处理工艺的环境资源效益

为科学、全面地衡量不同有机废弃物处理方式的环境影响，本章节基于全生命周期评价（LCA）框架，围绕污染排放维度、物料能耗消耗和再生资源能源替代三个核心维度，对有机废弃物主流处理技术进行系统的量化与比较分析，从而评价社区堆肥的环境和资源效益；评估范围覆盖不同处理技术从有机废弃物产生、收集、运输、处理和最终产物利用或处置的全过程。

- **污染排放维度：**重点关注处理全流程中，大气污染物（如  $\text{PM}_{2.5}$ 、二噁英）、水污染物（如高浓度 COD 废水）、土壤污染物（如重金属、致病菌）的产生强度，对比哪种方式对环境伤害更小。
- **物料能耗维度：**对比处理过程中消耗的能源（如柴油、电力）和关键物资（如调理剂、药剂），应尽量避免治污却消耗更多资源的情况。
- **再生资源能源替代维度：**计算处理后能回收多少有用资源——比如能源（电力、沼气）、物质（有机肥料、再生材料），还需要兼顾这些资源的环境价值和经济价值。

不同处理工艺在物质资源需求、能源消耗以及污染排放方面存在显著差异。本章节根据我国常见处理工艺，主要比较填埋处理、焚烧发电、厌氧发酵、集中堆肥、社区堆肥五种技术路径，主要特点见表 3.1。

#### 3.1.1. 污染排放

填埋处理、焚烧发电、厌氧发酵、集中堆肥、社区堆肥五种处理方式由于工艺不同，废气废水废渣等污染物排放量不同，对大气、水、土壤等环境影响强度不同，通过收集到的文献数据以及从平台伙伴收集到的社区堆肥数据（表 3.2）可以对五种处理方式的环境影响进行初步分析，以下是不同处理方式从大气、水、土壤三个角度的污染物排放特征。

**大气污染方面。**填埋处理  $\text{CH}_4$  排放量极高，并伴随一定氨气与硫化氢排放，易形成异味扰动。焚烧发电是所有处理方式中排放的污染物种类最多，达 13 种，且是二噁英类排放最高的。集中堆肥和社区堆肥有毒污染物产出都极少，但一旦管理不当氨氮和甲烷等气体会大量排放。

**水污染方面。**填埋处理的渗滤液量及 COD、BOD、TN 等污染物排放量都是最高的。焚烧发电处理过程需要压榨焚烧，此环节产生的废水污染物负荷较高。厌氧发酵的有机物与氮磷排放处于中等水平。社区堆肥因规模适中、过程可控与管理半径短，具备实施源头控水与快速处置的条件，一般不形成主要水环境压力。



表 3.1 有机废弃物不同处理技术路径工艺特点比较

| 技术路径 | 处理流程   | 工艺特点  |
|------|--|---|
| 填埋处理 |  <p>社区 → 厨余垃圾 → 集中收运 → 填埋</p>             | <p>填埋是传统工艺，需要大量土地和基础设施投入。其主要环境风险包括渗滤液产生、甲烷等温室气体的排放以及长期管理需求。尽管部分填埋场配备了沼气收集与能源利用系统，但整体来看，填埋的资源化效益有限，在“无废城市”与“双碳”目标背景下正逐步被替代。</p>  |
| 焚烧发电 |  <p>社区 → 厨余垃圾 → 集中收运 → 焚烧发电 → 电力</p>      | <p>焚烧发电工艺需要维持高温燃烧过程，能源投入较大，并依赖大量烟气净化药剂以控制二噁英、NO<sub>x</sub>和酸性气体排放。其环境负荷主要表现为大气污染物和二次固废（飞灰、炉渣）的产生。另一方面，焚烧工艺的减量效果显著，并通过余热利用实现电力或热能回收，在一定程度上具有能源替代效益，但处理高含水率有机废弃物时需要额外添加调节物料提高热值。</p> |
| 厌氧发酵 |  <p>社区 → 厨余垃圾 → 集中收运 → 厌氧发酵 → 沼气 → 电力</p> | <p>厌氧发酵是目前国内处理有机废弃物的主流工艺。其主要环境风险在于高浓度有机废水（COD、氨氮）的产生及处理负担。然而，厌氧消化可有效产出沼气，用于发电或供热，生产的沼渣副产物资源化处理还未完全推广，部分直接外运焚烧。</p>  |
| 集中堆肥 |  <p>社区 → 厨余垃圾 → 集中收运 → 工业堆肥 → 堆肥产物</p>   | <p>堆肥（集中式）工艺以需进行物料配比，调理剂为主要外部投入，整体能耗较低。其环境风险主要在于若管理不当可能产生氨气和渗滤液，导致土壤或水体污染。但该工艺的优势在于产出稳定的有机肥，可提高土壤有机质含量，促进农业可持续性。</p>  |
| 社区堆肥 |  <p>社区 → 厨余垃圾 → 社区堆肥 → 堆肥产物</p>         | <p>社区堆肥作为一种分散式的好氧堆肥处理方式，投资成本低，鼓励以人工替代能源消耗社区，能耗极低。其最大优势在于可实现厨余垃圾等有机废弃物的就地减量化与资源化，产出的堆肥产物可直接用于社区绿地或周边农业。相比集中式处理，社区堆肥减少了长距离运输过程中的能源消耗和臭气排放，同时强化了居民的参与度和资源循环意识，是推动零废弃社区建设的重要路径。</p>     |

**土壤污染方面。**填埋废渣中的重金属通过渗滤液和土壤迁移，对地下水和土壤环境造成长期风险。焚烧飞灰中重金属沉降后污染土壤，污染范围广泛。厌氧发酵的副产物沼渣性质不稳定，直接还田容易危害土壤健康。工业集中堆肥和社区堆肥产物重金属含量受原料影响较大，一般如果分类合格，原料来源明晰，重金属含量普遍远低于国家标准，且可直接作为土壤修复或改良剂。

表 3.2 不同处理技术路径污染物产生强度（数据来源：张慧 2022、Ashraf 2025）

| 污染项目  |                  | 单位 | 填埋处理     | 焚烧发电     | 厌氧发酵     | 集中堆肥     | 社区堆肥     |
|-------|------------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| 大气污染物 | NH <sub>3</sub>  | kg | 3.42E-01 | 1.44E-04 | 1.61E-02 | 5.41E-01 | 5.28E-04 |
|       | H <sub>2</sub> S | kg | 1.15E-02 |          | 3.00E-04 | 1.31E-02 | 2.85E-04 |
|       | CH <sub>4</sub>  | kg | 7.24E+00 |          |          | 4.47E-02 | 5.45E-03 |
|       | N <sub>2</sub> O | kg |          |          | 2.91E-03 | 1.27E-03 | 1.52E-04 |
|       | NO <sub>x</sub>  | kg |          | 3.64E-01 | 5.61E-02 | 3.00E-04 | 2.45E-04 |
|       | SO <sub>x</sub>  | kg |          | 4.57E-01 | 7.06E-02 |          |          |
|       | HCl              | kg |          | 8.34E-02 | 1.28E-02 |          |          |
|       | CO               | kg |          | 1.76E-01 | 2.70E-02 |          |          |
|       | 二噁英类             | kg |          | 2.76E-10 | 4.25E-11 |          |          |
| 水污染物  | COD              | kg | 6.85E-01 | 1.32E-03 | 2.17E-01 |          |          |
|       | BOD              | kg | 3.95E-02 | 3.95E-04 | 2.54E-02 |          |          |
|       | TN               | kg | 2.75E-01 | 1.54E-02 | 3.51E-02 |          |          |
|       | TP               | kg | 2.38E-03 | 7.11E-06 | 2.38E-03 |          |          |
|       | Cd               | kg | 5E-06    | 1.32E-06 | 2.9E-05  | 1.12E-05 |          |
|       | Cu               | kg | 4.9E-05  | 7.64E-06 | 3.25E-05 | 6.02E-03 |          |
|       | Cr               | kg | 1.55E-06 | 1.29E-06 | 9.28E-05 | 9.39E-04 |          |
|       | Pb               | kg | 2.35E-05 | 3.69E-06 | 1.16E-04 | 1.47E-01 |          |
|       | Zn               | kg | 4.5E-05  | 2.82E-06 | 4.79E-04 | 1.33E-03 |          |
|       | Ni               | kg | 1.15E-04 | 1.05E-05 | 1.00E-04 | 1.26E-04 |          |
| 土壤污染物 | Zn               | kg | 3.85E-01 | 3.65E-02 | 7.27E-03 |          |          |
|       | Cu               | kg | 6.94E-02 | 3.63E-03 | 8.37E-04 |          |          |
|       | Pb               | kg | 3.00E-02 | 1.72E-02 | 1.78E-03 |          |          |
|       | Cd               | kg | 4.12E-04 | 1.16E-03 | 9.7E-05  |          |          |
|       | Cr               | kg | 2.50E-02 | 1.31E-04 | 4.63E-05 |          |          |
|       | As               | kg | 1.33E-03 | 8.68E-04 | 1.49E-06 |          |          |
|       | Hg               | kg | 5.35E-04 | 2.72E-05 | 1.94E-05 |          |          |

### 3.1.2.物料能耗

资源消耗与产出是评估垃圾处理方式可持续性的重要指标，资源消耗主要包括能源消耗和物质消耗，产出也包括能源产出和物质产出。本部分详细列出了不同处理方式的消耗与产出，并通过价值转化率对比社区堆肥相较于其他处理方式的优势和不足。

#### 3.1.2.1. 能源消耗—运输过程

不同垃圾处理方式的运输消耗存在显著差异，主要取决于处理设施与垃圾产生源的距离以及运输方式。除社区堆肥为分散式处理，其他处理方式皆视为统一集中收运。图 3-1 展示了平台部分伙伴厨余垃圾外运和就地处理运输距离对比。

**集中收运（填埋、焚烧、厌氧发酵、集中堆肥）：**不同社区场景，集中收运距离差异极大，整体来看城市社区运输距离一般在 40~50km 左右，乡村社区（如箭岭）运输距离一般超出 60km，一些特殊场景（如海岛、自然保护区等）运输距离可达近 100km。集中收运主要由柴油车运输，以 25 吨收运车为例，百公里油耗大约在 15~25L，按照平均收运距离为 60km 计算，每吨垃圾运输大约消耗 0.43~0.6L 柴油。

**分散式处理（社区堆肥）：**社区内产生的废弃物一般在社区内或社区周边进行就地资源化处理，总体而言，其运输距离普遍在 3~5km 之间，且运输车通常为新能源车（如三轮电瓶车、四吨八桶车等），以 1 吨社区收运车为例，每公里能耗大约在 0.02~0.05kWh，按照平均收运距离 4km 计算，每吨垃圾运输大约消耗电能 0.08~0.12kWh。

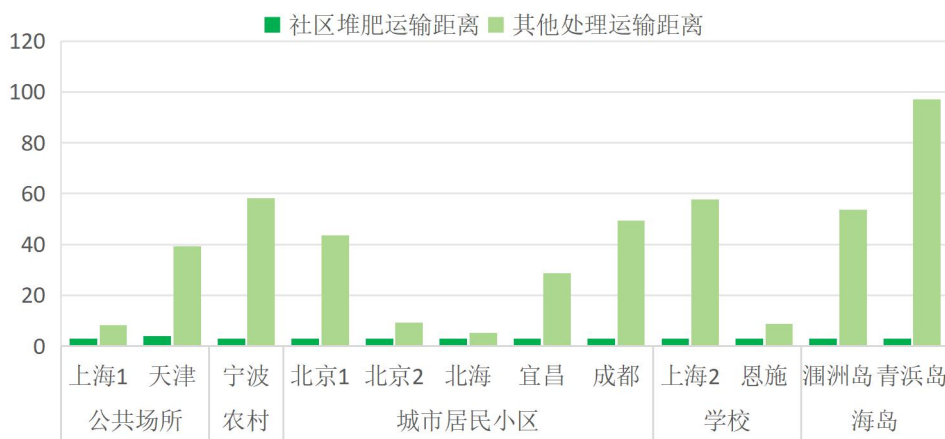


图 3-1 平台伙伴厨余垃圾外运和就地处理运输距离对比（部分）

### 3.1.2.2. 能源消耗—处理过程

根据文献及 CCCP 社区厨余堆肥平台收集数据, 进行处理阶段按电力等效口径比较, 五种技术能耗差异显著 (见表 3.3): 社区堆肥最低, 受预处理和后处理设备规格影响; 集中堆肥因强制曝气与温控而上升; 厌氧发酵受加热与搅拌主导; 填埋主要用于压实与渗滤液抽排; 焚烧最高, 源于维持炉温与烟气净化等高耗能环节。本节仅统计处理阶段用能, 未计入能源回收抵扣及上下游环节; 当地电力排放因子可据此换算相应碳排放。

表 3.3 不同处理路径能源消耗 (以处理 1 吨原料计)

| 处理<br>路径 | 处理阶段能源消耗   |      | 主要能耗构成                      | 关键影响因子                           |
|----------|------------|------|-----------------------------|----------------------------------|
|          | 电能<br>/kWh | 柴油/升 |                             |                                  |
| 填埋<br>处理 | 1.76       | 1.26 | 垃圾压实/覆土、渗滤液抽排与处理、填埋气体收集系统   | 渗滤液水质水量、抽排扬程、覆盖与导排制度             |
| 焚烧<br>发电 | 23.89      | 0.86 | 维持炉温、上料与渣/飞灰处理、烟气净化、厂内辅机    | 低位热值/含水率、净化路线 (干/湿法)、余热利用水平      |
| 厌氧<br>发酵 | 30.27      | 0.67 | 加热保温、搅拌、脱硫与沼气净化/压缩          | 中/高温运行、固含率、换热效率 (注: 能源回收抵扣不在本小节) |
| 集中<br>堆肥 | -          | 2.5  | 原料粉碎、强制曝气/翻抛、温度与含水监测、渗滤液处理  | 曝气方式 (被动/主动)、翻堆频率、C/N 与含水率       |
| 社区<br>堆肥 | 1.05       | 0.15 | 预处理/后处理设备 (破碎/粉碎)、翻堆能耗 (如有) | 预处理/后处理设备规格、翻堆是否有能耗产生            |

### 3.1.2.3. 物质消耗与产出

物质消耗方面, 社区堆肥呈现低消耗、低化学依赖特征: 无需额外添加化学药剂, 原料多来自社区内产生的有机废弃物, 实现就地与近端循环, 极少社区需要外购物料 (见表 3.4)。相较之下, 焚烧发电需要多种药剂用于烟气净化与飞灰稳定; 填埋依赖防渗材料与絮凝剂以保障渗滤液处理; 厌氧发酵主要消耗脱硫剂并可能补充营养盐; 集中堆肥也需要维持合适的物料湿度和物料 C/N 比, 为保证工艺过程稳定, 需外购蘑菇渣等匀质化物料, 其物料外购依赖性较高。

产出方面, 焚烧发电和厌氧发酵都是以能源为主要产出, 其中焚烧发电产生的电能可直接并入电网, 厌氧发酵先通过发酵产生甲烷气体, 然后再转化为电能或燃气使用; 具有能源回收工艺的填埋处理可以回收填埋过程中产生的填埋气用于发电或供热, 但收集率和产出都比较低; 集中堆肥和社区堆肥主产出堆肥产物, 产出率大约在 40%~60%。需要注意的是, 在我国只有极少量的填埋场配有高效



填埋气回收设备，大部分填埋场难以回收利用填埋气并转化为可利用能源，故不在此列出产出量。

表 3.4 不同处理路径主要物质消耗与产出（以 1 吨原料计）

| 处理路径 | 消耗   |                              | 产出   |                 |
|------|--|------------------------------|------|-----------------|
|      | 关键物料及典型用量                                  | 用途/备注                        |      |                 |
| 填埋处理 | HDPE 膜 0.5~1m <sup>2</sup> （年折算）；絮凝剂 5~8kg | 防渗系统；用于渗滤液处理                 | 填埋气  | -               |
| 焚烧发电 | 石灰 0.1~0.2t；活性炭 5~10kg；螯合/固化剂 3~5kg        | 烟气脱硫与酸性气体去除；重金属稳定化；二次固废处置要求高 | 电能   | 150~300kWh      |
| 厌氧发酵 | 脱硫剂 2~3kg；（部分项目）营养盐/缓冲剂少量                  | 去除 H <sub>2</sub> S，维持反应系统稳定 | 沼气   | 等效电能：150~300kWh |
| 集中堆肥 | 以生物质调节物质为主，化学药剂很少                          | 覆盖、调节 C/N 与含水率               | 有机肥  | 0.4~0.6t        |
| 社区堆肥 | 以社区内产生的有机废弃物为主要原料，无需化学药剂                   | 就地化、近端循环；就近选择原料              | 堆肥产物 | 0.4~0.6t        |

### 3.1.3.再生资源能源替代

鉴于不同处理方式在资源消耗和产出方面存在显著差异，本节依据各类物质材料的市场价格进行换算。通过查阅近两年来国内相关招采信息及原料供应网站数据，确定核心资源的市场价格（表 3.5），可进一步计算五种处理方式的资源消耗价值和资源产出价值。

表 3.5 五种处理方式涉及主要资源市场价格

| 具体品类 |   | 市场价格                  |
|------|---|-----------------------|
| 资源消耗 | 柴油  | 6.5~7.5 元/L           |
|      | 工业用电  | 0.6~0.8 元/kWh         |
|      | 固体絮凝剂（聚合氯化铝）  | 1.5~2.2 元/kg          |
|      | 石灰（工业级）   | 0.36~0.95 元/kg        |
|      | 活性炭（柱状）   | 4.5~9.8 元/kg          |
|      | 螯合剂（重金属螯合剂）   | 13~15 元/kg            |
|      | 脱硫剂（氧化铁脱硫剂）   | 1~2 元/kg              |
|      | HDPE 膜（防渗膜）   | 6~10 元/m <sup>2</sup> |
| 资源产出 | 并网电能  | 0.2~0.3 元/kWh         |
|      | 沼气（折算电能）  | 0.5~0.7 元/kWh         |
|      | 有机肥（N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O≥5%） | 800~1500 元/吨          |
|      | 堆肥产物（有机质≥60%）   | 200~600 元/吨           |

注：部分价格参考政府招标价格，可能偏高。

根据公式“产出投入比=资源产出价值：资源消耗价值”计算。从资源价值转化率来看，五种处理方式的效率从高到低为：集中堆肥>社区堆肥>厌氧发酵>焚烧发电>填埋处理（表 3.6）。

表 3.6 五种处理方式消耗和产出资源价值

| 处理方式 | 资源消耗价值<br>(元/吨) | 资源产出价值<br>(元/吨) | 产出投入比             |
|------|-----------------|-----------------|-------------------|
| 焚烧发电 | 120.2~393.1     | 30~90           | 0.08:1 ~ 0.76:1   |
| 厌氧发酵 | 27.3~39.7       | 75~210          | 1.89:1 ~ 7.69:1   |
| 集中堆肥 | 19.0~23.3       | 800~1500        | 34.41:1 ~ 78.74:1 |
| 社区堆肥 | 7.7~9.1         | 200~600         | 9.14:1 ~ 48.08:1  |

## 3.2. 社区堆肥产物的环境资源效益

社区堆肥的核心资源价值在于，能够把包括厨余垃圾在内的有机废弃物这一具有负价值的废弃物转化为土壤调理剂资源，同时降低对非再生资源（例如化石能源、矿产资源）的依赖程度，构建“有机质循环—资源节约”的闭环体系。本节将从堆肥产物替代化肥生产以及其应用于土壤所造成的环境影响这两个方面展开分析与评价。

### 3.2.1. 社区堆肥产物样品检测基本情况

项目组自 2018 年起面向来自全国各地的试点伙伴、平台伙伴进行社区堆肥产物样品收集和检测技术支持，共收集来自 41 个社区的 167 个堆肥产物样品（见表 3.7），主要社区类型涵盖了城市居民区、村镇居民区、学校及特殊环境社区（保护区、海岛等）。

表 3.7 平台检测堆肥产物样品来源

| 编号  | 来源      |                 | 编号  | 来源  |             |
|-----|---------|-----------------|-----|-----|-------------|
| AH1 | 安徽省     | 安徽省合肥市某学校       | HN1 | 湖南省 | 湖南省长沙市某社区   |
| BJ1 | 北京市     | 北京市某村镇          | JS1 | 江苏省 | 江苏省常州市某村镇   |
| BJ2 |         | 北京市某社区 1        | JS2 |     | 江苏省南京市某社区 1 |
| BJ3 |         | 北京市某社区 2        | JS3 |     | 江苏省南京市某社区 2 |
| BJ4 |         | 北京市某社区 3        | JS4 |     | 江苏省苏州市某社区   |
| BJ5 |         | 北京市某社区 4        | JS5 |     | 江苏省无锡市某社区   |
| BJ6 |         | 北京市某社区 5        | SD1 | 山东省 | 山东省青岛市某社区 1 |
| BJ7 |         | 北京市某社区 6        | SX1 | 陕西省 | 陕西省西安市某社区   |
| FJ1 | 福建省     | 福建省南平市某社区       | SH1 | 上海市 | 上海市某社区 1    |
| GD1 | 广东省     | 广东省广州市某社区       | SH2 |     | 上海市某社区 2    |
| GD2 |         | 广东省深圳市某社区 1     | SC1 | 四川省 | 四川省成都市某社区 1 |
| GD3 |         | 广东省深圳市某社区 2     | SC2 |     | 四川省成都市某社区 2 |
| GD4 |         | 广东省珠海市某社区       | SC3 |     | 四川省成都市某社区 3 |
| GX1 | 广西壮族自治区 | 广西壮族自治区北海市某海岛   | SC4 |     | 四川省成都市某学校   |
| GX2 |         | 广西壮族自治区北海市某社区   | TJ1 | 天津市 | 天津市某社区      |
| GX3 |         | 广西壮族自治区南宁市某社区 1 | ZJ1 | 浙江省 | 浙江省杭州市某社区   |
| HB1 | 湖北省     | 湖北省恩施自治州某保护区    | ZJ2 |     | 浙江省宁波市某村镇   |
| HB2 |         | 湖北省恩施自治州某学校 1   | ZJ3 |     | 浙江省宁波市某学校   |
| HB3 |         | 湖北省武汉市某社区 1     | ZJ4 |     | 浙江省舟山市某海岛   |
| HB4 |         | 湖北省武汉市某社区 2     | CQ1 | 重庆市 | 重庆市某学校      |
| HB5 |         | 湖北省宜昌市某社区 1     |     |     |             |

表 3.8 社区堆肥产物样品检测结果整体汇总分析

| 项目     | 单位               | 有效数据量 | 最小值   | 最大值    | 平均值         | 95%置信区间       | 标准参考值<br>(NY/T 525、GB/T 33897) | 解释说明  |
|--------|------------------|-------|-------|--------|-------------|---------------|--------------------------------|---|
| 容重     | t/m <sup>3</sup> | 161   | 0.01  | 1.04   | 0.30±0.01   | 0.27~0.33     | ≤0.5                           | 整体偏轻，说明堆肥产物疏松性较好，利于通气和植物根系伸展，适宜作为土壤改良剂或育苗基质。          |
| 含水量    | %                | 167   | 3.50  | 77.22  | 41.64±1.48  | 38.72~44.56   | ≤45%                           | 含水量一般在 30%—50%区间，利于保持微生物活性。                           |
| 有机质含量  | %                | 151   | 2.56  | 95.69  | 69.04±1.22  | 66.63~71.46   | ≥30%                           | 有机质含量高，能有效改善土壤结构、提升保水能力。                              |
| pH     | /                | 152   | 4.61  | 9.28   | 7.82±0.06   | 7.7~7.94      | 5.5~8.5                        | 中性偏碱，多数土壤适用。  |
| EC     | mS/cm            | 152   | 0.02  | 10.09  | 3.34±0.18   | 2.99~3.7      | ≤4                             | 多数未超标，电导率略高时，使用时需稀释或与低 EC 基质混合。盐害潜力偏高。                |
| 种子发芽指数 | %                | 149   | 28.46 | 264.00 | 110.17±2.89 | 104.46~115.88 | ≥80%                           | 腐熟充分，无植物毒性，利于种子萌发和幼苗生长，应用安全性高。                        |
| 总养分    | %                | 136   | 0.68  | 6.35   | 2.79±0.09   | 2.61~2.98     | ≥4%                            | 略低于 NY/T 525 的要求，但可作为植物补充营养。                          |
| 总氮     | %                | 136   | 0.02  | 2.76   | 0.63±0.03   | 0.56~0.70     | ≥0.5%                          |   |
| 总磷     | %                | 136   | 0.13  | 3.13   | 1.15±0.06   | 1.03~1.26     | ≥0.5%                          |   |
| 总钾     | %                | 136   | 0.08  | 2.86   | 1.02±0.04   | 0.93~1.11     | ≥0.5%                          |   |
| 砷      | mg/kg            | 86    | 0.25  | 18.10  | 4.45±0.38   | 3.7~5.19      | ≤15                            | 整体远小于 NY/T 525 中对重金属的限制，安全系数高。但海岛或沿海城市社区受原料影响容易重金属偏高。 |
| 镉      | mg/kg            | 86    | 0.00  | 3.30   | 0.35±0.04   | 0.26~0.44     | ≤1.5                           |   |
| 铅      | mg/kg            | 86    | 3.00  | 87.70  | 16.14±1.51  | 13.13~19.15   | ≤50                            |   |
| 汞      | mg/kg            | 87    | 0.01  | 1.87   | 0.20±0.03   | 0.15~0.25     | ≤1                             |   |
| 铬      | mg/kg            | 86    | 17.60 | 164.00 | 59.71±3.23  | 53.29~66.13   | ≤150                           |   |



依据《NY/T525 有机肥料》中的检测要求对收集到的堆肥产物进行标准化检测，并进行结果统计。根据检测结果，社区堆肥产物一般有机质含量高、养分含量较丰富、基本安全无害，是一种高有机质含量的土壤调理剂，具体检测结果见表 3.8。

- **有机质含量高，营养丰富：**有机质（C）含量基本超过 60%；氮含量（以 N 计）基本超过 0.5%；厨余原料的堆肥产物磷含量（以  $P_2O_5$  计）基本超过 1.0%（生厨余和园林绿化垃圾原料堆肥产物磷含量较低）；钾含量变化情况和磷含量变化情况较一致。
- **绝大多数堆肥产物具备活力：**送检样品的有效活菌数均超过 1 亿/g，最高超过 40 亿/g。总体来说，有效活菌数越大，表示堆肥产物活力越强。
- **全部送检堆肥产物实现安全无害化：**部分特殊场景的原料（如海产品）或防腐木原料容易超标，多数常见原料堆肥产物重金属砷（As）、镉（Cd）、铅（Pb）、铬（Cr）、汞（Hg）能够达到 NY/T 525《有机肥料》的标准，且很多样品检测结果远低于标准限值；同时，如堆肥达到高温灭杀要求，蛔虫卵死亡率和粪大肠杆菌等病原菌检测结果大都符合标准要求。大多数样品的盐分指标满足限量要求，如大量使用餐厨作为原料，样品的盐分指标容易超标。

### 3.2.2.堆肥产物替代化肥生产的环境影响

社区堆肥产物含有丰富的氮磷钾元素可部分替代化学矿质肥料（氮肥、磷肥、钾肥）。化学矿质肥料生产高度依赖矿产资源（如磷矿、钾矿）与化石能源，且生产能耗巨大。同时，长期施用化肥容易导致土壤酸化、盐碱化，危害土壤健康。使用堆肥产物替代化肥，不但减轻农业对不可再生资源的依赖，还能够提高土壤有机质含量，构建健康土壤。

#### 3.2.2.1. 养分替代量

根据之前的 3.2.1 章节中的分析已知，堆肥产物总养分含量大约在 2.61%~2.98%，这些养分在一定程度上能够替代化肥中的养分，从而缓解化肥生产带来的环境压力。

养分替代量可以从总养分替代和可利用养分替代两种角度计算。但考虑到土壤性质的多样性和不同植物养分吸收效率的差异，难以有一个准确的值或范围来计算从养分吸收角度堆肥产物可替代化肥的数量。在这里我们选用总养分替代来计算堆肥产物对化肥的养分替代量，依据“等效化肥数量=1 吨堆肥产物中某养分质量÷对应化肥理论养分含量”进行计算，结果见表 3.10。

**表 3.9 常见肥料有效成分含量（依据 2024~2025 网络公布成交价格）**

| 品类名称  |      | 总氮     | 总磷      | 总钾  | 含量依据           | 市场价格（元）   |
|-------|------|--------|---------|-----|----------------|-----------|
| 氮肥    | 尿素   | 46.40% | /       | /   | GB/T2440-2017  | 1640~1780 |
|       | 氯化铵  | 25.40% | /       | /   | GB/T2946-2018  | 1780      |
|       | 硫酸铵  | 20.50% | /       | /   | GB/T535-2020   | 800~900   |
| 磷肥    | 磷酸一铵 | 11%    | 44%     | /   | GB/T10205-2009 | 3420~3570 |
|       | 磷酸二铵 | 18%    | 46%     | /   | GB/T10205-2009 | 3800~3850 |
|       | 过磷酸钙 | /      | 12%~18% | /   | GB/T20413-2017 | 500~700   |
| 钾肥    | 氯化钾  | /      | /       | 60% | GB/T6549-2011  | 3000~3300 |
|       | 硫酸钾  | /      | /       | 54% | GB/T20406-2017 | 3600~3950 |
|       | 硝酸钾  | /      | /       | 46% | GB/T20784-2018 | 4400~4500 |
| 商品有机肥 |      | 有机质含量  |         |     | NY/T 525-2021  | 800~1500  |
|       |      | 4%~5%  |         |     |                |           |

参照表 3.10 不同化肥养分含量及对应的市场价格，能够计算出堆肥产物的养分价值。将堆肥产物的有效营养成分折算为市场价格，社区堆肥产物的总养分价值处于 115.10~238.43 元/吨区间。

堆肥产物除氮磷钾等主要营养元素外，丰富的有机物质是堆肥产物的另一大价值。近几年商品有机肥成交价格主要区间大约在 800~1500 元。尽管多数社区堆肥产物总有机质含量高达 60%，但考虑到社区堆肥原料和品相与主流商品有机肥的差异性，以及市场接受程度较差，其价值需打一定折扣（按 0.6 计算），有机质含量价值处于 144.90~249.07 元/吨区间。综上，堆肥产物养分价值处于 260.00~487.50 元/吨区间，市场定价可在 200~600 元/吨。

**表 3.10 1 吨堆肥产物等效化肥替代量及养分价值**

| 项目  | 养分含量  | 养分质量      | 每吨等效化肥量 |                | 养分价值                |
|-----|-------|-----------|---------|----------------|---------------------|
| 总氮  | 0.63% | 6.3 kg/t  | 尿素      | 约 13.58 kg     | 23.22~44.14<br>元/吨  |
|     |       |           | 氯化铵     | 约 24.80 kg     |                     |
|     |       |           | 硫酸铵     | 约 30.73 kg     |                     |
| 总磷  | 1.15% | 11.5 kg/t | 磷酸一铵    | 约 26.14 kg     | 38.33~95.63<br>元/吨  |
|     |       |           | 磷酸二铵    | 约 25.00 kg     |                     |
|     |       |           | 过磷酸钙    | 63.89~95.83 kg |                     |
| 总钾  | 1.02% | 10.2 kg/t | 氯化钾     | 约 17.00 kg     | 53.55~98.66<br>元/吨  |
|     |       |           | 硫酸钾     | 约 18.89 kg     |                     |
|     |       |           | 硝酸钾     | 约 22.17 kg     |                     |
| 有机质 | 60%   | 600kg/t   | -       |                | 72.22~268.89<br>元/吨 |

### 3.2.2.2. 自然资源消耗

化肥生产往往具有高耗能、高资源依赖、不可再生等特性，如生产氮肥，需要消耗大量化石能源生成氢气（ $H_2$ ）从而进一步合成氨（ $NH_3$ ）；磷肥、钾肥生产则完全依赖于磷矿、钾矿，同时在加工过程中，还需要使用到大量水和电热资源。具体数值见表 3.11。

使用社区堆肥产物则可以减少这些自然消耗，根据表 3.3 已经知道每吨堆肥产物生产仅需消耗 1.05 kWh 电能和 0.15L 柴油，而每使用 1 吨堆肥产物至少可以减少使用天然气 6.9m<sup>3</sup>、煤炭 0.083t、磷矿 0.28t、硫酸 0.23t、电力 97.87kWh、水 2.12t。

表 3.11 不同化肥生产工艺能源消耗（以生产 1 吨化肥计）

| 肥料种类 | 原料消耗 |                        | 能源消耗           |                        | 水资源消耗   |        |
|------|------|------------------------|----------------|------------------------|---------|--------|
| 氮肥   | -    |                        | 天然气（国际主流工艺）    | 100~1300m <sup>3</sup> | 一般消耗    | 15~30t |
|      |      |                        | 煤炭（中国主流工艺）     | 1.2~1.8t               | 循环水系统消耗 | 10t    |
|      |      |                        | 电力（辅助能耗，压缩冷却等） | 500~800kWh             |         |        |
| 磷肥   | 磷矿   | 2.5~4.0t               | 电力（破碎、搅拌、浓缩）   | 500~800kWh             | 湿法磷酸消耗  | 10~20t |
|      | 硫酸   | 2.0~2.5t               |                |                        |         |        |
| 钾肥   | 固体盐矿 | 8~12t                  | 电力（固体矿浮选）      | 300~500kWh             | 洗矿、浮选消耗 | 5~8t   |
|      | 盐湖卤水 | 200~300 m <sup>3</sup> | 电力（卤水蒸发）       | 100~200kWh             |         |        |

表 3.12 使用堆肥产物替代化肥可减少的资源消耗（以使用 1 吨堆肥产物计）

|   | 氮肥类型   | 减少的天然气消耗（m <sup>3</sup> ） | 减少的煤炭消耗（kg） | 减少的电力消耗（kWh）  | 减少的水资源消耗（kg） |
|---|--------|---------------------------|-------------|---------------|--------------|
| 氮 | 尿素     | 1.358~17.654              | 16.3~24.4   | 6.79~10.86    | 204~407/136  |
|   | 氯化铵    | 2.48~32.24                | 29.8~44.6   | 12.4~19.84    | 372~744/248  |
|   | 硫酸铵    | 3.073~39.949              | 36.9~55.3   | 15.365~24.584 | 461~922/307  |
| 磷 | 磷肥类型   | 减少的磷矿消耗（kg）               | 减少的硫酸消耗（kg） | 减少的电力消耗（kWh）  | 减少的水资源消耗（kg） |
|   | 磷酸一铵   | 65~105                    | 52~65       | 13.07~20.91   | 261~523      |
|   | 磷酸二铵   | 62.5~100                  | 50~62.5     | 12.5~20       | 250~500      |
|   | 过磷酸钙   | 160~383                   | 128~240     | 31.945~76.664 | 639~1917     |
| 钾 | 工艺类型   | 固体盐矿/盐湖卤水                 |             | 减少的电力消耗（kWh）  | 减少的水资源消耗（kg） |
|   | 盐湖卤水提钾 | 200~300 m <sup>3</sup>    |             | 100~200       |              |
|   | 固体盐矿提钾 | 8000~12000kg              |             | 300~500       | 5000~8000    |

### 3.2.2.3. 环境影响

在明确系统边界与等效替代口径等前提下，社区堆肥产物可替代或部分替代化肥的使用，可显著降低上游采选—合成—运输的环境负荷。相较化肥生产链条普遍存在的温室气体与多污染物排放以及矿产开采引发的生态扰动。社区堆肥依赖微生物自然分解，规范化管理下的社区堆肥总体污染强度更低、影响范围小，且具备能源与物质投入低的显著优势。

表 3.13 化肥生产过程的环境影响

|      |  |
|------|--|
| 大气污染 | 排放大量二氧化硫等污染物，形成酸雨且影响范围广。   |
| 水体污染 | 生产废水含高浓度氨氮、重金属，会污染水体并危害水生生态与饮用水安全。磷尾矿和磷石膏堆场若不当管理，可能通过径流和渗漏污染地表水与地下水。 |
| 生态破坏 | 相关的矿产开采会破坏地表植被、导致水土流失，生态破坏程度大。                                       |

### 3.2.3.改良土壤的环境影响

社区堆肥产物作为优质有机土壤改良剂，凭借丰富的有机质和有益微生物，从多维度显著提升土壤质量：既能促进土壤团粒结构形成，降低容重、提升孔隙度与保水保肥能力，增强土壤物理性能；又可调节土壤酸碱平衡、补充多元养分，修复酸化、盐渍化等化学退化问题；还能丰富土壤微生物群落、提高酶活性，优化生物活性与养分转化效率，抑制病原菌；同时通过降低重金属与有机污染物的活性、迁移性，减少面源污染，实现土壤污染修复，全方位保障土壤健康与肥力。堆肥产物施用对土壤改良的环境影响具体见表 3.14。

表 3.14 社区堆肥产物改善土壤质量的具体效果

| 优化土壤物理性质  | 调节土壤化学性质  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>● 促进团粒结构形成</li><li>● 降低容重</li><li>● 提升孔隙度</li><li>● 提高保水能力</li><li>● 缓解板结</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>● 平衡酸碱</li><li>● 补充多元养分</li><li>● 修复酸化、盐渍化</li><li>● 提升养分有效性</li></ul>                |
| 激活土壤生物性质  | 修复土壤污染问题  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>● 丰富微生物群落</li><li>● 提高酶活性与生物多样性</li><li>● 增强养分转化</li><li>● 抑制病原菌</li></ul>          | <ul style="list-style-type: none"><li>● 降低重金属活性与迁移性</li><li>● 降低有机污染物活性与迁移性</li><li>● 减少面源污染</li><li>● 抑制污染物向作物迁移</li></ul> |



以长沙金色比华利社区为例，从 2021 年加入平台后开始进行社区堆肥，以厨余原料和园林绿化废弃物为主要原料，并将堆肥产物用于社区内绿化土壤的改良。根据样品检测结果，使用堆肥产物后，土壤有机质含量明显提高（见图 3-3）。

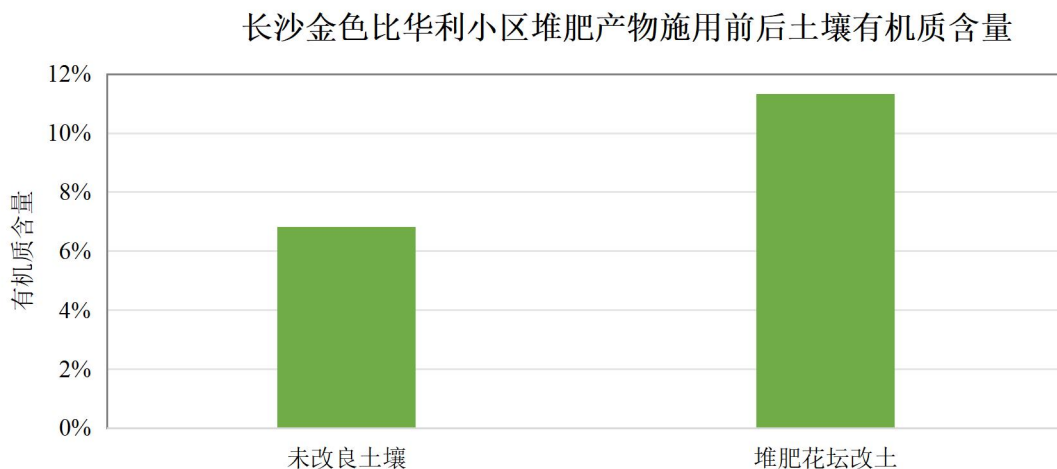


图 3-2 金色比华利小区堆肥产物施用前后土壤有机质含量

堆肥产物明显改善了小区之前较差的土壤质量（花种不活），图 3-4 展示了小区进行土壤改良的工作以及效果。减轻土壤板结，土壤的保水性提高，树木花草成活率高，长势喜人。和化肥、复合肥相比，堆肥产物能够疏松土壤，保水又不会积水，减少了浇水频率。据物业经理介绍，这种土壤条件特别适合花卉种植。但对于个别养分需求高的花卉，会配合复合肥使用，复合肥用量减至原来四分之一。用于绿化土壤改良时，则不额外添加肥料。小区新增各类花卉，让越来越多的小区居民关注到堆肥。



图 3-3 长沙金色比华利小区使用堆肥产物和未使用堆肥产物的绿化地块对比

### 3.3. 社区堆肥的潜在风险评估

为确保社区堆肥能够被社区公众接受并具有持续性,本节将重点针对社区堆肥开展过程中的风险进行评估。社区堆肥的风险主要包括两个方面:首先是堆肥过程的邻避效应风险,即由于管理不规范可能引发的周边居民抵制行为和心理抗拒问题;其次是技术层面的堆肥产物安全风险,包括堆肥过程中可能产生的有害物质、病原微生物污染以及最终堆肥产品的重金属含量等质量安全问题。

#### 3.3.1. “邻避效应”风险评估

社区堆肥作为一种垃圾处理方式,虽具备诸多优势,但不可避免地存在一定的环境影响风险。其中,管理不当时导致的异味散发、蝇虫滋生以及产生渗滤液等问题极易引发邻避效应,尤为值得关注。这里所说的邻避效应指居民或当地社区因担心开展社区堆肥对周边居民身体健康、环境质量和社区资产价值等带来诸多负面影响,从而激发嫌恶情结,滋生“不要建在我家后院”的心理,进而采取强烈且坚决、有时甚至高度情绪化的集体反对行为。多个不当管理的社区堆肥不仅可能导致本社区堆肥工作无法正常推进,还会影响社区堆肥在社会上的整体推广。

##### 3.3.1.1. 异味

几乎每个社区堆肥启动时,“是否产生异味”都是社区居民最关心的话题。平台在推广社区堆肥的过程中,始终致力于通过科学管理尽量减少堆肥过程中的异味产生。但从科学角度而言,堆肥过程或多或少都会产生一些气味,即便在最佳的好氧分解条件下,也会有正常的发酵气味。表 3.15 列出了堆肥过程中会产生臭气的一些化合物及其性质。

表 3.15 堆肥过程中可能产生的异味气体

| 化合物类别  | 散发的气味        | 化合物类别 | 散发的气味               |
|--------|--------------|-------|---------------------|
| 硫化合物   |              | 碳化合物  |                     |
| 硫化氢    | 臭鸡蛋味         | 醋酸    | 刺激性醋味               |
| 甲硫醇    | 烂菜心味         | 丁酸    | 腐臭的酸味               |
| 二硫化碳   | 烂萝卜味         | 异戊酸   | 腐臭的奶酪,汗臭味           |
| 二甲基二硫醚 | 洋葱味          | 柠檬烯   | 刺激的柠檬味              |
| 氮化合物   |              | A-蒎烯  | 树脂、松节油味             |
| 甲胺     | 鱼腥味          | 甲醛    | 强烈刺激性气味,类似于福尔马林气味   |
| 氨      | 强烈刺激性气味、令人头晕 | 乙醛    | 刺激性气味、稀释后有果香、咖啡香、酒香 |
| 吲哚/卡托  | 粪便臭味         |       |                     |
| 尸胺     | 动物组织类的腐烂味    |       |                     |

在一定程度上，堆体是否发臭是较为主观的嗅觉感知，这就需要堆肥实践者保持嗅觉敏感，主要依靠鼻子觉察潜在的异味，并在实践中逐步积累判别和解决问题的经验。

一个管理良好的堆体在静置发酵时，通常仅在 1~2m 范围内能闻到气味，相对敏感的人一般在 5m 范围内可闻到；若场地处理量较大，这个距离可能会扩展到 10m 甚至更远。但如果管理不善，可能在 10m 外就能闻到发酵异常的恶臭味。

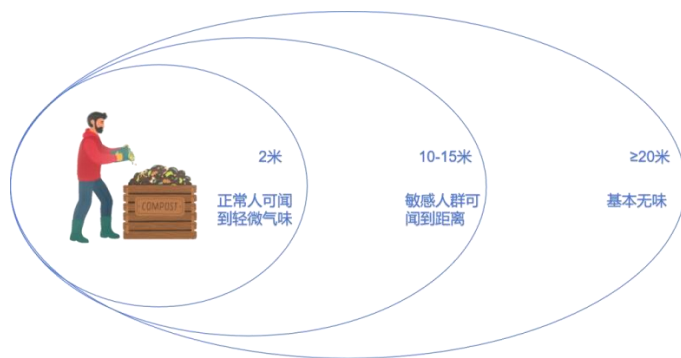


图 3-4 社区堆肥异味扩散距离示意

此外，翻堆过程是异味扩散的另一个主要来源，翻堆时将堆体完全摊开，会使聚集在堆体内部的气味散发出来。根据项目组在多个社区的测试，正常的堆肥翻堆时，异味主要在 5m 范围内扩散，在 10~15m 左右气味已很轻微，20m 左右常人基本无法闻到，当然，这个影响范围也会受到当日风向和环境温度的影响，不过翻堆结束后，这些异味通常会在 0.5~1 小时内彻底消失。总体来看，社区堆肥只要管理得当，异味扩散和影响范围并不大，可以控制在大多数人能够接受的范围内。

#### 3.3.1.2. 蝇虫

堆肥过程中洒落的“食物”以及释放的“香味”无疑对蝇虫有很强的吸引力，这些蝇虫通过摄取堆肥原料中的营养物质生长繁殖，一定程度上促进了堆肥原料的分解。然而，蝇虫一旦繁殖过多，就会影响居民的日常生活，甚至会造成一些疾病的传播，带来卫生安全隐患。不过蝇虫问题往往与异味影响相通，因此只要控制好异味扩散且能及时用碳源物料如落叶等将厨余等易腐烂、散发异味的原料及时覆盖住，蝇虫无处产卵，堆肥场地的蝇虫数量便可以得到有效控制。





图 3-5 社区堆肥常见蝇虫（黑水虻、苍蝇、小甲虫）

另外需要注意的是，如果堆肥过程高温无害化处理不到位或堆肥物料直接与地面接触，堆肥产物中可能会长出金龟子幼虫——蛴螬，这种昆虫会啃食植物根茎，危害植物生长。不过这种昆虫的防治与一般蝇虫基本相似，额外需要注意的是：在施用之前将这些蛴螬挑出。

### 3.3.1.3. 渗滤液

堆体中流失的自由水被称为渗滤液，因缺乏足够的吸水性调节物质吸收，从堆体中流出，通常于发酵过程的前期产生，这往往表明堆体湿度过大。实践表明，在产生渗滤液时，更易产生异臭气味，吸引蝇虫，需调整堆体合适的湿度配比并在底层铺设 20~30cm 的干物料加以避免；在产生渗滤液时，则应及时使用高碳调节物质，特别是前期堆肥产物对液体进行覆盖吸附清洁。吸附渗滤液的物料则可以作为原料继续堆肥。



图 3-6 堆肥过程中产生的渗滤液

## 3.3.2. 堆肥产物安全风险评估

### 3.3.2.1. 重金属

重金属具有污染范围广、持续时间长、隐蔽性强且不可生物降解的特性。堆肥需重点关注的重金属主要包括砷（As）、镉（Cd）、铅（Pb）、汞（Hg）、铬（Cr），又称“五毒”。

长期施用超标堆肥产物，会导致土壤中重金属不断累积，进而引发土壤退化，如破坏土壤团粒结构、抑制微生物活性等；还可能通过径流、淋失等途径污染地表水与地下水；此外，重金属会通过植物吸收进入食物链，经富集作用（如汞转化为甲基汞）后毒性增强，最终危害人体健康，例如铅会损伤神经系统，镉可能导致肾脏病变。虽然堆肥的高 pH 值与高有机质可钝化部分重金属，但当超标量超出其钝化能力时，危害依然会显现。



根据平台多年的检测结果（见图 3-8），一般来说，多数社区堆肥产物的重金属含量能远低于国家标准限值，极少部分社区因原料、地域等特殊因素，可能出现堆肥产物重金属超标的情况。在收集到的堆肥产物中，有 3.49% 存在重金属砷和铅超标现象，经追溯源头，问题主要出在原料本身重金属超标上。

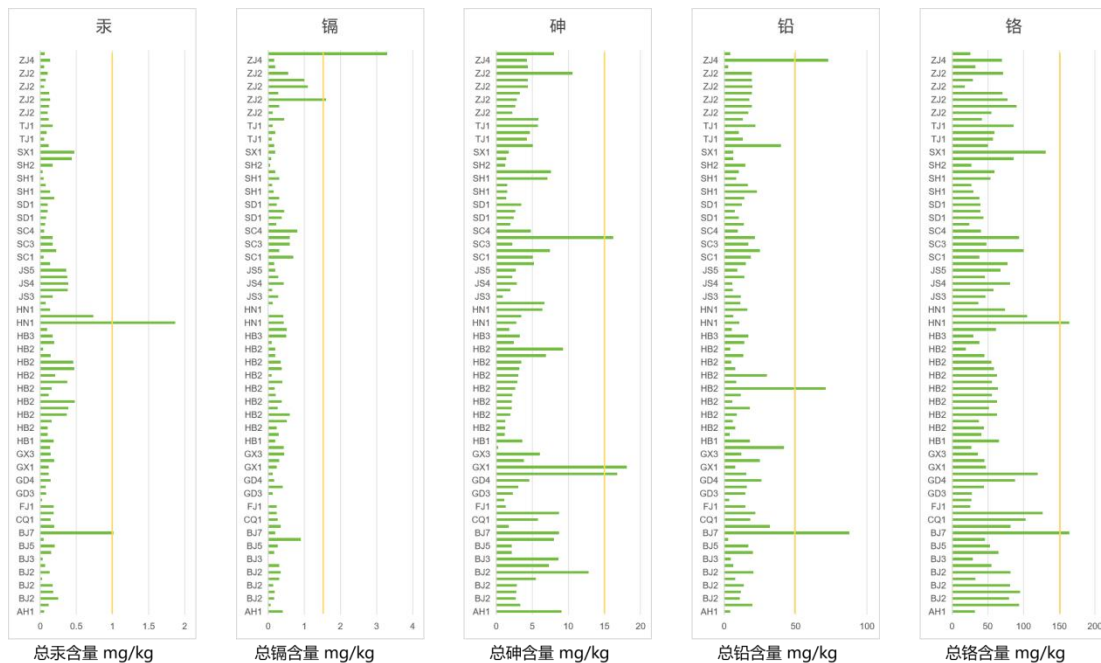


图 3-7 平台堆肥产物重金属检测结果统计图

#### 3.3.2.2. 盐分

EC 值是衡量可溶性离子浓度的指标。正常的 EC 值范围在 1~4mmhos/cm（或 mS/cm）之间。高浓度的可溶性盐类会对植物造成损伤，甚至导致植株根系死亡。若基质中可溶性盐含量（EC 值）过高，可能形成反渗透压，将根系中的水分置换出来，使根尖变褐或干枯，同时抑制植物对养分的吸收；还会破坏土壤团粒结构，导致土壤板结、退化。

根据平台多年的检测结果（见图 3-9），对于社区堆肥产物而言，如果大量使用餐厨垃圾（来自饭店、餐馆），含盐量可能偏高，因此盐分是需要重点关注的指标，堆肥产物通常也会出现盐分偏高的现象。社区堆肥产物的 EC 均值为 3.34mS/cm，主要分布在 2.99~3.7mS/cm 之间，已比较接近国内外堆肥安全标准（ $\leq 4\text{mS/cm}$ ）。

另有 32% 的堆肥产物 EC 值超过 4mS/cm，更有甚者高达 10.09mS/cm。EC 值超标的原因有很多，可能是堆肥时间太短，堆体正处于高度分解状态；另一种可能就是原料本身含盐量偏高。经进一步检测，这些 EC 值超标的堆肥产物一半以上钠离子含量超过 0.6%，也就是说，约有 15% 的社区堆肥产物盐分含量高与  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  等可溶性盐的富集有关，存在引发土壤盐碱化的风险。

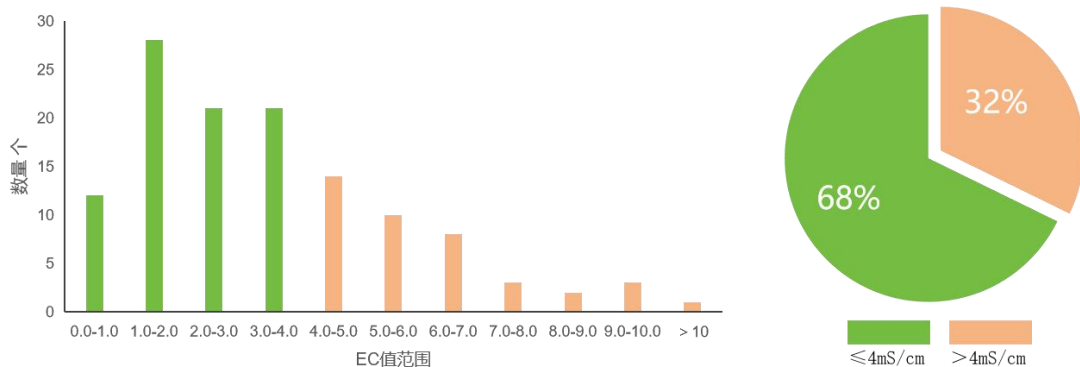


图 3-8 平台堆肥产物样品 EC 值不同区间数量及占比统计

#### 3.3.2.3. 病原体

堆肥产物中的病原体主要包括蛔虫卵、粪大肠杆菌、沙门氏菌三类病原菌，这些病原体主要通过“堆肥—土壤—农产品—人体”的链条传播。如果未能通过高温过程杀灭这些病原体，就会存在危害人类健康、引发肠胃疾病的风险。

从检测结果来看（见图 3-10），仅有约一半的社区堆肥产物样品在病原体检测中达到相关要求。与规范化的工业堆肥相比，社区堆肥在原料、设施、管理等方面都存在一定差距，往往因堆体过小、翻堆不均匀、管理不当等问题，导致堆体无法实现高温灭菌或灭菌不均匀，最终使堆体中残留大量病原体。不过值得一提的是，这些病原菌主要通过接触传播，只要接触后彻底清洁手部，基本可以避免其带来的危害。

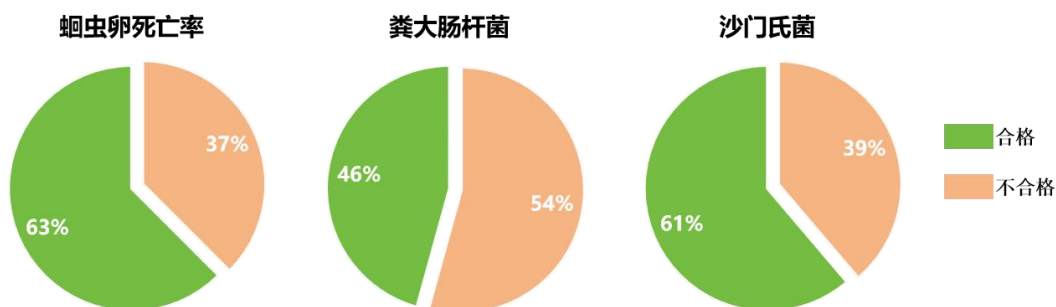


图 3-9 平台堆肥产物样品病原体检测统计

### 3.4. 小结

综合本章评估，社区堆肥在有机废弃物处理的污染排放、物料能耗消耗和再生资源能源替代等方面均展现出显著优势，是多种有机废弃物处理路径中整体绩效最优的技术之一；其潜在风险在规范化管理下可有效控制；从环境与资源效益角度看，社区堆肥在多数情景下具备明显的相对优势。

从垃圾处理过程的环境减负与资源节能角度看，社区堆肥彻底改变了传统垃圾处理模式的高耗低效问题。社区堆肥通过微生物自然降解作用，在社区内部实现“垃圾就地转化”——处理过程无需消耗大量电力，从源头减少了跨区域运输的能耗；更能全维度降低环境负担：避免焚烧对空气的污染、阻断填埋渗滤液对水体的破坏、减少垃圾侵占土地资源，真正实现“空气—水—土壤”的协同保护，以极低的资源消耗达成垃圾处理的生态化闭环。表 3.16 是社区堆肥与主流处理工艺对比评价。

**表 3.16 社区堆肥与主流有机废弃物处理路径对比的优势**

|      |      | 优势  | 不足                         |
|------|------|---|----------------------------|
| 环境影响 | 大气污染 | 几乎不产生二噁英类污染物                              | 依赖管理水平，缺乏防控机制一旦管理不当污染会明显加重 |
|      |      | 有毒有害气体产量极低                                |                            |
|      |      | 少量 NH <sub>3</sub> 和 CH <sub>4</sub> 排放   |                            |
|      | 水污染  | 渗滤液可回收                                    |                            |
|      |      | 几乎不造成水污染                                  |                            |
|      | 土壤污染 | 重金属含量极低，一般不造成土壤污染                         | 可能造成盐害风险                   |
|      | 小结   | 环境优势显著，但不确定因素较多，高度依赖管理水平和原料来源，污染防控体系相对脆弱。 |                            |
| 资源转化 | 运输距离 | 运输距离普遍低于 5km                              | -                          |
|      | 能源   | 仅辅助设备耗能                                   | -                          |
|      |      | 每吨处理能耗不超过 40kWh                           | -                          |
|      | 物质   | 几乎没有工业原料消耗                                | 品质不稳定、市场化困难                |
|      |      | 产出高有机质含量堆肥产物                              |                            |
|      | 转化率  | 转化价值极高，产出投入比可达 48.08:1                    | 市场销售困难                     |
|      | 小结   | 资源消耗极低优势显著、理论资源转化价值极高，但实际市场化困难。           |                            |

从化肥替代的资源节约与土壤改良角度看，堆肥产物替代部分化肥，不仅减少了化学肥料生产环节的资源消耗与环境排放，更能为土壤注入丰富的有机质、氨基酸及有益微生物：改善土壤团粒结构，提升土壤保水保肥能力；激活土壤微生物群落，增强土壤自我修复能力；减少化肥残留对农产品与地下水的污染，形成“垃圾—有机肥—健康土壤—安全农产品”的绿色循环链，为农业可持续发展与食品安全提供底层支撑。以下是对社区堆肥产物相较于化肥的优势和不足。

表 3.17 社区堆肥产物替代化肥的优势

|        | 优势   | 不足  |
|--------|--|---|
| 环境资源影响 | <ul style="list-style-type: none"><li>● 对大气、水体、土壤污染极小</li><li>● 不会破坏地表生态</li><li>● 低能耗、低碳排</li><li>● 没有工业原料消耗</li></ul>  | <p>对原料来源和安全性进行把控，尤其关注原料重金属含量</p> <p>管理过程规范，避免产生邻避效应</p> |
| 小结     | 社区堆肥产物生产工艺从环境影响和资源消耗方面都具有显著优势。   |   |
| 养分替代   | <ul style="list-style-type: none"><li>● 养分类型丰富，养分含量约 2.61%~2.98%</li><li>● 每吨价值约 200~600 元</li><li>● 每吨可综合替代约 55.58—148.7kg 的化肥</li><li>● 产出高有机质含量堆肥产物</li></ul> | 养分含量有限，养分释放缓慢   |
| 土壤应用   | <ul style="list-style-type: none"><li>● 提升土壤团聚体数量</li><li>● 增加通气孔隙度</li><li>● 缓冲能力提高</li><li>● 提升土壤生物活性，优化群落结构</li><li>● 降低土壤中有毒物质活性与迁移性</li></ul>               | 腐熟不彻底可能危害植物生长有造成盐害的潜在风险                                 |
| 小结     | 社区堆肥产物可以部分替代化肥，并改善土壤健康。但由于养分含量有限、释放缓慢，不能够完全满足生产需求，需与化肥配施。  |   |

综上，社区堆肥以低消耗、低污染、高循环的特性，在环境污染防治、资源循环利用、土壤生态修复等方面形成多维价值闭环，在环境和资源方面具备极高的推广必要性与现实意义。



# 4

## 社区堆肥气候变化效益评估

### 章节看点

- 首次系统量化了中国社区堆肥的负碳潜力。
- 社区堆肥不仅是一种有效的废弃物资源化手段，更是一项具备显著气候效益的本地化解决方案。社区堆肥的气候效益主要来源于资源回收后的产品价值实现。
- 通过科学化、精细化的过程管理，降低堆肥过程碳排放，提高堆肥产物价值，从而可以进一步实现社区堆肥气候贡献潜力。



# 前言

社区堆肥能耗低、运输成本低、管理方便、示范效益显著。在目前城乡普遍缺乏大型、集中式堆肥的情况下，社区堆肥提供了一条就地堆肥以避免长途运输造成的碳排、就地使用堆肥产物提高土壤质量和碳汇潜力、激励居民开展垃圾分类、鼓励居民和社区践行循环经济、在社区层面实现双碳目标的技术路径；管理得当，社区堆肥过程不会产生额外的、人为的温室气体排放，能够实现固废管理领域的双碳目标。

本章节基于平台伙伴的真实数据，构建系统评估框架，科学衡量社区堆肥的碳减排与固碳效益，为推动社区低碳实践提供可验证的依据。

## 章节目录

### 1.堆肥的温室气体的排放源分析

### 2.气候变化效益评估方法与计算模型

### 3.碳排放核算

### 4.碳收益核算

### 5.碳减排效益核算

### 6.结果与讨论

## 4.1. 堆肥的温室气体的排放源分析

政府间气候变化委员会（IPCC）第六次评估报告明确指出毋庸置疑，人类活动正在造成气候变化，使得包括热浪、强降水和干旱在内的极端气候事件变得更为频繁和更强。最直观的气候变化现象就是全球平均气温逐年上升，给人类生产与生活带来日益重大的影响。基于此背景，厘清好氧堆肥过程中温室气体（GHG）排放的来源与控制路径具有现实意义。



图 4-1 干旱、暴雨、飓风等极端天气频发：图片来源于网络

### 4.1.1. 排放构成与口径

好氧堆肥通过微生物作用，将有机废弃物转化为稳定的腐殖质，同时固定有机碳，这期间主要涉及  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  三种温室气体。由于有机废弃物是短期碳循环的一部分，堆肥过程分解产生的  $\text{CO}_2$  被普遍看作是生物排放，并不计入造成气候变化的人为排放中；堆肥的气候影响主要来自甲烷（ $\text{CH}_4$ ）和氧化亚氮（ $\text{N}_2\text{O}$ ）。按照 IPCC AR6 的 100 年时间尺度（含气候-碳反馈，生物源甲烷）全球变暖潜能（GWP100）： $\text{CH}_4=27.2$ 、 $\text{N}_2\text{O}=273$ 。堆体内部复杂的物理化学和微生物环境，为这两种强效温室气体的产生提供了潜在的温床。这意味着，即便是微量的  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放也会显著放大气候影响。

### 4.1.2. 生成机理与排放特征

堆肥过程的直接排放是社区堆肥情景最主要的温室气体来源，其强度与堆体内的微生物代谢机理密切相关。

典型堆肥过程经历升温—高温—降温—腐熟四个阶段。温室气体排放主要集中在高温期。随着易降解有机物的逐步降解，温度下降至  $40^\circ\text{C}$  以下，堆体进入腐熟期，温室气体排放量大大减少，甚至可忽略不计。

**$\text{CH}_4$  的产生机理：**其主要由厌氧微区中的产甲烷微生物产生。厌氧微区的形成与含水率过高、孔隙度不足、通风不均或结块结壳等有关，这些因素共同削弱氧在堆体内的扩散与补给。若供氧充足且混气均匀，有机物优先经好氧途径分解，

CH<sub>4</sub>生成受到抑制。在高温阶段中，堆体内部氧气含量是影响 CH<sub>4</sub>产生的主要因子。

**N<sub>2</sub>O 的产生机理：**其多发生在硝化—反硝化交替或并存的环境中。当堆体中存在充足的氨氮（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）且氧气供应不均或波动时，极易诱发 N<sub>2</sub>O 的释放。具体而言，在氧气浓度变化的区域，好氧的硝化过程与缺氧的反硝化过程可能交替或同时发生，不完全的硝化或反硝化都会导致 N<sub>2</sub>O 作为副产物逸出。此外，较低的 C/N 意味着氮素相对过剩，这也显著增加了 N<sub>2</sub>O 的生成风险。

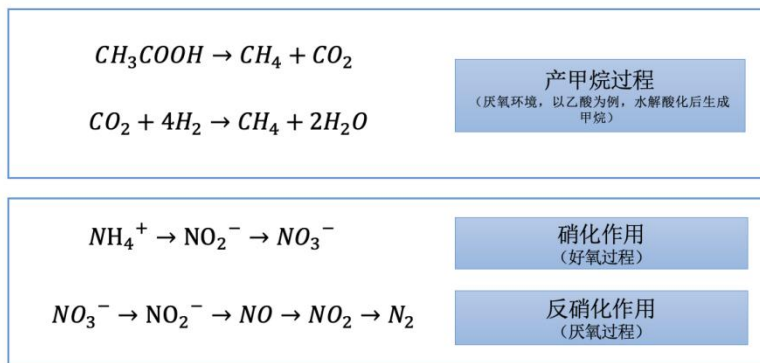


图 4-2 CH<sub>4</sub>与 N<sub>2</sub>O 的产生机理

整体来说，水分含量、氧气控制和 C/N 比是影响堆肥过程温室气体排放的主要因素。适当的氧气控制，可调节 CH<sub>4</sub>与 CO<sub>2</sub>的产生，而 N<sub>2</sub>O 和 CH<sub>4</sub>之间，因水分的关系此消彼长。

在堆肥过程中，含水量高的高氮物料的温室气体排放量最高。当堆料的氮元素含量低（C/N>30:1）或水分含量低（<55%）时，堆肥过程中温室气体的排放潜力便会大打折扣。这是因为在高 C/N 比的堆肥物料中，N 是有限的，更有可能被固定而不是反硝化，不易产生和释放温室气体。当堆料的 C/N 比较低（<20:1）或物料湿度较大时，N<sub>2</sub>O 则更容易形成和释放出来。



图 4-3 堆肥过程中主要排放的温室气体



在堆肥实践中，由于氧气的扩散距离有限，加上通风和翻堆条件限制，堆体很容易出现局部厌氧状况。值得注意的是，当堆体出现局部厌氧时，会产生大量氨类化合物、硫化物等散发臭味的产物。无明显异味的堆体，通常意味着其内部维持了较好的好氧状态，其  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  的排放水平也相应极低。

综合 IPCC 2006 和 2019 的报告以及相关研究显示，大型好氧堆肥全过程中， $\text{CH}_4$  的产生量约占堆料总碳质量的 0.8%~6%，而  $\text{N}_2\text{O}$  约占堆料总氮质量的 0.2%~6%。这个宽泛的排放区间有力地证明了管理水平是决定性因素。通过管理与操作参数的系统优化，可显著降低  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放，使其气候影响中生命周期对比具备竞争力。后续章节的清单与参数设定将把上述机理对应到可量化的排放因子与不确定分布中，用于情景与敏感性分析。

## 4.2. 社区堆肥气候变化效益评估方法与计算模型

相较大型堆肥，社区堆肥在规模、原料及运输半径上更具本地化特征（见图 4-4）。通过就地收集—就地处理—就地利用的闭环模式，可显著缩短运输距离、降低化石燃料消耗与相关温室气体排放，并将厨余有效分流，减轻焚烧、填埋等集中设施的排放压力。其产物在社区绿化、花园等场景定向施用，可提升土壤有机碳、增强碳汇，从而以高社会参与度实现显著的气候协同效益。

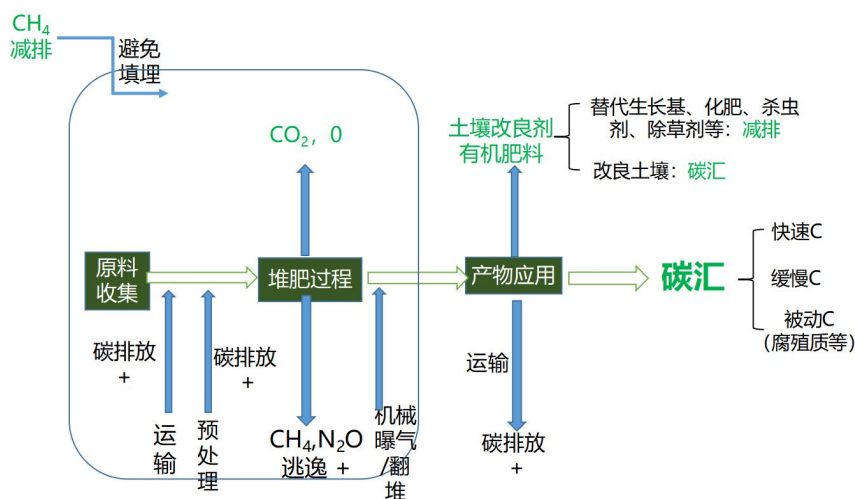


图 4-4 集中式堆肥系统边界与减排机制

### 4.2.1. 评估方法与核算边界

本章基于生命周期评价（LCA）的总体框架，结合 IPCC 温室气体清单方法，对社区堆肥的碳减排与固碳效益进行系统量化评估。该方法旨在保证科学性与准确性的同时，兼顾数据可得性与跨社区案例的可比性。

**研究设计思路：**以 LCA 作为整体核算框架，并在关键排放环节引入 IPCC 默认排放因子与分级计算公式，从而实现系统性、可比性与适用性的统一。

**研究边界：**从摇篮到坟墓，主要涵盖社区厨余垃圾、园林绿化废弃物等有机废弃物从产生、分类收集、社区堆肥处理到堆肥产物施用的全链条（图 4-5）。此外，本研究将采用系统扩展的方法，考虑堆肥产物作为土壤改良剂或肥料的替代效应，即其替代传统化肥或商业基质所避免的环境负担。

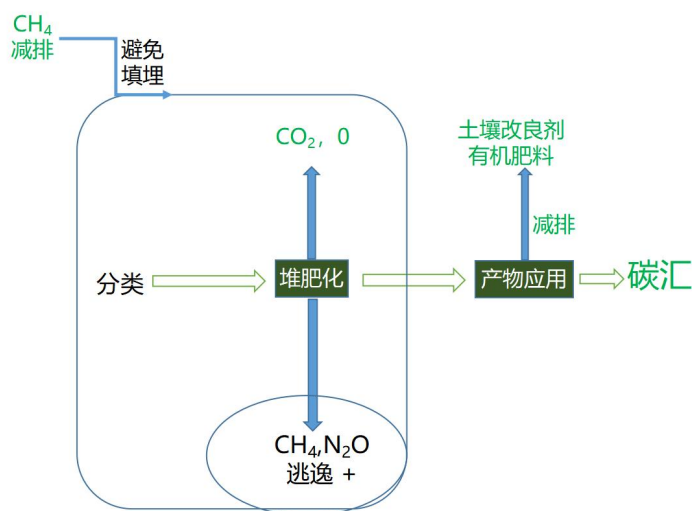


图 4-5 社区堆肥温室气体核算边界示意图

### 4.2.2.核算模型

基于上述边界，本章节定义**社区堆肥气候变化效益**为：通过社区堆肥减少或避免了本应排放到大气中的温室气体量，以及通过堆肥产物施用产生的温室气体减排和固碳效益，又被称为**净气候效益（Net Climate Benefit, NCB）**。这里需要重点考虑：基线场景碳排放、社区堆肥碳排放与社区堆肥碳收益三个方向。

本章分别对集中式处理（基线场景）与社区堆肥两种情景，在收集运输、预处理、发酵环节、后处理环节、产物应用/处置等环节核算温室气体排放，并计入相应收益。社区堆肥的气候变化效益  $GHG_{NCB}$  核算公式见公式（4-1）。其中， $GHG_{CC}$  表示社区堆肥的碳核算，需要同时考虑社区堆肥的碳排放（ $E_{CC}$ ，计算方法见 4.2.2.2）与碳收益（ $R_{CC}$ ，计算方法见 4.2.2.3）， $GHG_{baseline}$  表示基线情景的碳核算（计算方法见 4.2.2.1），本章评估核算用到的具体参数指标说明见表 4.1。

为确保结果可比性与可解释性，核算时以处理 1 吨湿重厨余垃圾/其他有机废弃物（如园林绿化废弃物、农田废弃物）为功能单位（FU），以 100 年时间尺度全球变暖潜能（ $GWP_{100}$ ）为核心指标，结果以吨二氧化碳当量（ $tCO_2e$ ）来衡量。

$$\begin{aligned} \text{GHG}_{\text{NCB}} &= \text{GHG}_{\text{cc}} - \text{GHG}_{\text{baseline}} \\ &= (\text{E}_{\text{CC}} + \text{R}_{\text{CC}}) - \text{GHG}_{\text{baseline}} \end{aligned} \quad \text{公式 (4-1)}$$

#### 4.2.2.1. 基线情景碳核算

为准确评估社区堆肥的碳减排效益，首先必须建立一个清晰的**基线情景**（**Baseline Scenario**，缩写为**baseline**）。此情景代表在未开展社区堆肥时，社区内产生的有机废弃物（包括厨余垃圾、园林绿化废弃物等）的主要处理方式（如填埋、焚烧、厌氧发酵处理等）。通过与基线的温室气体排放进行对比，方能定量地衡量社区堆肥所带来的 GHG 减排潜力。基线情景碳核算（ $\text{GHG}_{\text{baseline}}$ ）方法见公式（4-2），需要考虑集中处理下交通运输碳排放（ $\text{E}_{\text{base,transport}}$ ）、集中处理过程直接碳排放（ $\text{E}_{\text{base,processing}}$ ）、集中处理过程直接碳排放（ $\text{E}_{\text{base,treatment}}$ ）以及产品碳收益（ $\text{R}_{\text{base}}$ ）。

$$\text{GHG}_{\text{baseline}} = \text{E}_{\text{base,transport}} + \text{E}_{\text{base,processing}} + \text{E}_{\text{base,treatment}} + \text{R}_{\text{base}} \quad \text{公式 (4-2)}$$

当前我国生活垃圾基本通过终端的集中式处理设施实现无害化和减量化，其中卫生填埋、焚烧等是许多地区的其他垃圾或未分类的混合垃圾主要处理处置方式之一；厌氧发酵是分类后的厨余垃圾主要处理处置方式；集中式好氧堆肥作为厨余垃圾的主要处理方式还不常见。例如，基线情景设定为 50% 的厨余垃圾分出后被运往厌氧发酵厂，50% 未被分出，和其他垃圾混合后被运往焚烧厂进行焚烧处理。上述公式需同时考虑厌氧发酵和焚烧两种基准条件下的碳核算。

表 4.1 评估指标符号说明

| 符号                                  | 含义               | 说明  | 首次出现     |
|-------------------------------------|------------------|---|----------|
| $\text{GHG}_{\text{NCB}}$           | 净气候效益            | 相比基准场景，社区堆肥所带来的碳减排效益                            | 公式 (4-1) |
| $\text{GHG}_{\text{cc}}$            | 社区堆肥碳核算          | 社区堆肥情景的碳排放与收益总核算                                |          |
| $\text{E}_{\text{CC}}$              | 社区堆肥碳排放          | 社区堆肥情景的碳排放                                      |          |
| $\text{R}_{\text{CC}}$              | 社区堆肥碳收益          | 社区堆肥情景的碳收益                                      |          |
| $\text{GHG}_{\text{baseline}}$      | 基准情景碳核算          | 填埋/焚烧/厌氧发酵基线场景的温室气体排放与收益总核算                     |          |
| $\text{E}_{\text{base,transport}}$  | 基线情景运输排放         | 废弃物运输到集中式处理设施的排放                                | 公式 (4-2) |
| $\text{E}_{\text{base,processing}}$ | 基线情景过程直接排放       | 集中式处理设施的直接排放                                    |          |
| $\text{E}_{\text{base,treatment}}$  | 基线情景过程间接排放       | 集中式处理的间接排放，包括能耗                                 |          |
| $\text{R}_{\text{base}}$            | 基线场景产品收益         | 集中式处理设施的产品替代收益                                  |          |
| $\text{E}_{\text{CC,direct}}$       | 社区堆肥直接碳排放        | 堆肥过程中排放的少量 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ | 公式 (4-3) |
| $\text{E}_{\text{CC,transport}}$    | 社区堆肥过程间接碳排放-运输   | 原料、辅料、产物在收集—转运—再利用环节的燃油/电力                      |          |
| $\text{E}_{\text{CC,processing}}$   | 社区堆肥过程间接碳排放—处理过程 | 破碎、曝气、除臭等设施用电 / 柴油                              |          |

|               |   |  |             |
|---------------|---|--|-------------|
| $R_{sub}$     | 产物替代收益  | 堆肥产物替代化肥 / 土壤改良剂的碳减排效益                           | 公式<br>(4-4) |
| $R_{soil}$    | 固碳效益  | 土壤有机碳 (SOC) 提升带来的固碳效益                            |             |
| $Q_{soil}$    | 替代化肥定量  | 基于营养等效法得出的氮肥/磷肥/钾肥的数量                            |             |
| $Q_j^{fert}$  | 等效第 j 种肥料产品的质量  | 单位: kg。单位: CO <sub>2</sub> e                     | 公式<br>(4-5) |
| $EF_j^{prod}$ | 生产第 i 种工业化肥产品的温室排放因子  | 单位: kg。单位: CO <sub>2</sub> e                     |             |
| $M_c$         | 堆肥干重  | 实测, 单位 kg/dm                                     | 公式<br>(4-6) |
| $C_j$         | 堆肥中元素质量分数 (N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, OM) | 实测, 单位 kgN/kg/dm                                 |             |
| $f_{j,avail}$ | 可利用系数   | 初步可设 1   |             |
| $E_j$         | 对应化肥元素质量分率  | 规范值  |             |
| $U_j$         | 相对养分利用效率(同一作物同一季), 无田间试验时取 1。                                       | 无田间试验时取 1  | 公式<br>(4-6) |
| $A$           | 堆肥产物施用的面积   | 堆肥产物施用的面积  |             |
| $CSR$         | 每单位面积每年固碳效益   | 单位: kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> / year |             |

准确量化基线情景的 GHG 排放存在挑战。它不仅需要准确的活动数据 (如废弃物量、组分、运输距离), 还需要可靠的排放因子。以卫生填埋为例, 整个生命周期涉及多个 GHG 排放环节 (见表 4.2)。对于 CH<sub>4</sub> 排放, 通常采用 IPCC 推荐的一阶衰减模型 (First Order Decay, FOD) 进行估算, 该模型考虑了废弃物随时间降解的过程, 但其参数 (如降解速率、产甲烷潜力) 具有较大的不确定性, 且受本地条件影响显著。

表 4.2 基线场景 (卫生填埋为主) 主要温室气体排放源识别

| 生命周期阶段 | 主要活动/过程     | 主要排放源           | 涉及的温室气体  |
|--------|-------------|-----------------|--|
| 收运阶段   | 废弃物运输车辆运行   | 化石燃料燃烧          | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O |
| 运营阶段   | 场内机械运行      | 化石燃料燃烧          | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O |
|        | 有机物厌氧分解     | 填埋气逸散           | CH <sub>4</sub>                                      |
|        | 反硝化作用       | 填埋气逸散           | N <sub>2</sub> O                                     |
| 末端处置   | 渗滤液处理       | 能耗 (电力) / 化学品消耗 |  |
|        | LFG 收集与火炬燃烧 | LFG 燃烧 (若未完全燃烧) | CO <sub>2</sub> (转化), CH <sub>4</sub> (逸散)           |
|        | LFG 收集与能源利用 | 替代化石燃料          | CO <sub>2</sub> (避免排放)                               |

#### 4.2.2.2. 社区堆肥碳排放

社区堆肥情景（Community Composting Scenario，缩写为 CC）是指开展社区堆肥后的有机废弃物处理路径。常规堆肥碳排放（ $E_{cc}$ ）来源主要包括堆肥过程的直接碳排放（ $E_{CC,direct}$ ）、社区堆肥收集运输的碳排放（ $E_{CC,transport}$ ）以及堆肥过程能源消耗产生的间接碳排放（ $E_{CC,processing}$ ）三个方面，具体核算见公式（4-3）。

$$E_{cc}=E_{CC,direct}+E_{CC,transport}+E_{CC,processing} \quad \text{公式（4-3）}$$

- **堆肥过程的直接碳排放（ $E_{CC,direct}$ ）**：堆肥过程本身直接排放产生少量温室气体，主要是  $CH_4$  和  $N_2O$ ，生成机理与排放特征可参考 4.2 章节。
- **社区堆肥收集运输（ $E_{CC,transport}$ ）**：与堆肥原料、辅料的收集转运过程中发生的能源消耗与相关排放，包括电能、柴油、自来水等物质和能源的使用。
- **社区堆肥处理过程的间接排放（Indirect Emissions,  $E_{cc,processing}$ ）**：堆肥处理与运行阶段因用水/用电/用水/辅料使用引起的间接温室气体排放，一般含破碎、翻堆曝气（如使用电耗）等过程的温室气体排放。

表 4.3 社区堆肥生命周期阶段划分与 GHG 核算要素

| 生命周期阶段 | 标记     | 主要内容       | 主要排放源与涉及的温室气体                   | 备注                    |
|--------|--------|------------|---------------------------------|-----------------------|
| 收集阶段   | 间接排放 1 | 车辆燃料/电力消耗  | 化石燃料燃烧 $CO_2$ , $CH_4$ , $N_2O$ | 厨余垃圾从产生地到堆肥场地的运输      |
|        | 间接排放 2 | 车辆燃料/电力消耗  |                                 | 辅料从产生地到堆肥场地的运输        |
| 运营阶段   | 间接排放 3 | 预处理燃料/电力消耗 | 化石燃料燃烧 $CO_2$ , $CH_4$ , $N_2O$ | 破碎原料产生的电力消耗           |
|        | 直接排放   | 堆肥过程排放     |                                 | 好氧堆肥过程中产生的直接排放        |
|        | 间接排放 4 | 堆肥过程/电力消耗  |                                 | 使用能耗进行翻堆或曝气，可省略       |
|        | 间接排放 5 | 后处理燃料/电力消耗 |                                 | 使用带能耗的破碎机或筛分机，可省略     |
| 应用阶段   | 间接排放 6 | 车辆燃料/电力消耗  |                                 | 包括堆肥产物到使用地的运输         |
| 使用阶段   | 碳补偿 1  | 替代化肥的碳减排   |                                 | 堆肥产物替代化学肥料生产和使用所避免的排放 |
|        | 碳补偿 2  | 固碳效益       |                                 | 土壤有机碳（SOC）提升带来的固碳效益   |



#### 4.2.2.3. 社区堆肥碳收益

社区碳收益 ( $R_{cc}$ ) 来源, 主要包括以下两个方面, 堆肥产物的替代效益 ( $R_{sub}$ ) 与堆肥产物施用于土壤的固碳效益 ( $R_{soil}$ ), 具体计算见公式 (4-4)。

$$R_{cc}=R_{sub}+R_{soil} \quad \text{公式 (4-4)}$$

##### (1) 堆肥产物的替代效益

**堆肥产物的替代效益** ( $R_{sub}$ ) 是指堆肥产物作为一种有价值的产品, 在其使用过程中能够替代功能相似的传统工业产品 (如工业化肥、土壤改良剂), 从而避免了这些传统产品在整个生命周期内 (从生产到使用) 所产生的环境负荷和温室气体排放。

这部分效益通过系统扩展的方法进行量化, 并作为环境贷方 (**Credit**) 计入本系统的总环境影响中。根据堆肥产物的养分含量及有效性, 综合计算其对相应工业化肥 (氮肥、磷肥、钾肥) 的替代量, 从而避免相关的温室气体和污染物排放。

具体来说, 本节采用**营养等效法**来计算, 堆肥产物所替代的化肥量。即把堆肥产物提供的 TN, TP, TK 和总有机质折算成相当量的化肥与土壤改良剂。

$$R_{sub} = \sum Q_j^{fert} \times EF_j^{prod} \quad \text{公式 (4-5)}$$

$$Q_j^{fert} = \frac{M_c \times f_{j,avail} \times C_j}{E_j \times U_j} \quad \text{公式 (4-6)}$$

##### (2) 固碳效益

**固碳效益** ( $R_{soil}$ ) 是指将有机废弃物中的生物质碳通过堆肥过程转化为稳定的腐殖质, 并将其施用于土壤中, 从而实现碳在土壤中长期储存的物理过程。这是一种直接的碳汇增强机制。堆肥产物的施用能够提高土壤的有机质含量, 从而减少土壤的碳释放和提高土壤的碳汇能力。土壤管理得当的情况下, 混入土壤中的堆肥产物虽然会继续分解, 但大部分堆肥有机质能够稳定存在, 成为土壤长期碳汇 (封存) 的一部分。本节将根据腐殖酸的替代来计算固碳效益。

$$R_{soil} = A \times CSR \quad \text{公式 (4-7)}$$

### 4.2.3. 参数设定

为保证核算结果的科学性、可比性与可复现性，本研究对计算模型所依赖的排放因子与关键参数实行统一的数据来源层级、设定原则与本地校准流程，并在缺失数据时采用权威指南的默认值进行回补。

为确保核算科学性、可比性与可复现性，本研究对全部排放因子与关键参数实行分级优先（A→D）与本地校准并行的取值策略。默认采用 A 级（现场监测/台账）；当缺失时，依次退阶至 B 级（本地权威统计）、C 级（国家/国际指南与数据库）与 D 级（模型推算/合理假设）。当实测数据缺失时，选用中国本地数据优先于国际默认值，以增强模型的区域适用性。

表 4.4 参数数据来源与证据层级（A–D）汇总表

| 层级  | 数据来源        | 内容  |
|-----|-------------|---|
| A 级 | 实测/调研数据（优先） | 现场监测与台账，如运输距离与载重、车辆燃料用量或电耗、预处理与翻堆/曝气等处理过程能耗、原料、产品实际检测理化性质等。   |
| B 级 | 本地权威统计      | 生态环境部发布的区域/全国电网排放因子、地方温室气体清单与行业统计等。例，电网排放因子：0.9489 tCO <sub>2</sub> /MWh（生态环境部）。  |
| C 级 | 国家/国际指南与数据库 | 《IPCC 2006 国家温室气体清单指南》及 2019 修订版的默认排放因子与分级（Tier1–3）方法；中国生命周期数据库（CLCD）及经同行评议文献的代表性参数。例，柴油燃烧排放因子：3.171tCO <sub>2</sub> /t 柴油（IPCC）。 |
| D 级 | 模型推算与合理假设   | 在 A–C 级缺失时，采用透明、可追溯的推算与区间值，并在不确定性/敏感性分析中体现其影响。  |

### 4.2.4. IPCC 清单方法的优化应用与参数校准

需要注意的是，社区堆肥碳核算目前还没有成熟的方法和模型，本章参考集中堆肥场景，并结合社区堆肥的本地化和低能耗特征，参考将 IPCC 清单指南作为数据缺失时的重要补充和方法学校准工具，结合实测、调研数据进行本地化校准，以增强模型的科学性与案例间的可比性，并设计了敏感性分析（内容见 4.5.3）以评估模型结果对参数变化的稳健性。

|  |   |
|--|---|
| 堆肥过程排放 (CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O)   | 替代效益&固碳效益   |
| 一般采用 IPCC 默认值 (若无监测数据), 即 CH <sub>4</sub> =4×10 <sup>-3</sup> tCH <sub>4</sub> /t 湿垃圾, N <sub>2</sub> O=3×10 <sup>-4</sup> tN <sub>2</sub> O/t 湿垃圾依据 IPCC 废弃物章节的分级方法 (Tier1-3) 计算, 数据充足时采用更高分级; 缺数据时用默认因子。 | 堆肥产物的替代效益依据等效养分 (TN、TP、TK、总有机质) 与作物有效系数计算, 结合化肥生产排放因子, 数据来自 CLCD 和文献; 固碳效益采用替代产品法, 以腐殖酸等土壤改良剂为参考或采用 IPCC 固碳系数; 与基线情景边界保持一致, 避免重复抵扣。 |
| 能源相关排放   | 避免排放  |
| 电力、柴油/汽油等按本地排放因子核算 CO <sub>2</sub> , 并计入燃烧产生的 CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O。   | 与避免填埋甲烷按照 IPCC 垃圾填埋模块——一阶参数衰减模型 (FOD) (产甲烷潜力、收集效率等) 估算。   |

#### 4.2.4.1. 不确定性分析

为确保结论的科学性, 必须正视本章节核算模型存在的不确定性来源:



社区堆肥过程的温室气体排放因子受气候条件、原料特性和工艺管理水平的影响较大。考虑气候与工艺条件和堆肥工艺对排放的影响, 对排放因子进行本地化校正。社区堆肥通常采用小规模、低能耗方式, 其排放因子可能低于 IPCC 默认值。翻堆频率、是否覆盖、通风条件等均会改变堆体氧气状况, 进而影响 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 的排放。因此, 在采用 IPCC 默认因子的基础上, 结合社区工艺特征进行本地化修正。

#### 4.2.4.2. 社区堆肥过程温室气体排放模型

为精确核算社区堆肥过程中的温室气体排放，本研究构建了一个数据驱动与机理分析相结合的混合模型框架。该框架以一个全面的“全球文献数据库”为基础，通过数据挖掘提取全球范围内的堆肥工艺参数与实测排放数据。这些数据被用于支持三个平行的分析支柱：一是进行“Meta 定性分析” 60 多篇关于堆肥温室排放数据以识别关键影响关系；二是基于堆肥温室气体排放数据集训练“机器学习模型”以捕捉复杂的非线性动态；三是与“IPCC”的核算框架进行校准与融合。

该框架的核心是“社区堆肥温室气体直接排放混合模型”。此模型创新性地 将 IPCC 的机理认知（作为输入之一）与机器学习的预测能力相耦合，针对不同社区情景给出分级排放因子建议。它允许用户输入高度具体的本地化工艺参数——例如堆肥原料配比、设施类型、含水率及翻堆频率等——进而动态估算出该特定场景下的  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放因子（如图 4-6）。本模型旨在取代宏观的默认因子，为社区级堆肥项目的碳足迹评估和减排优化提供更精细化的科学工具。

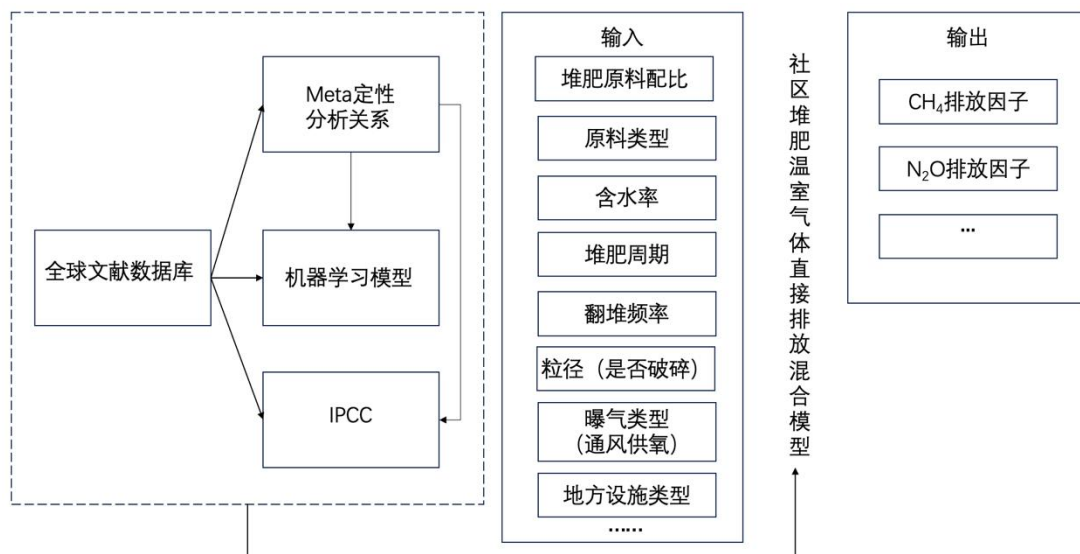


图 4-6 社区堆肥过程温室气体排放模型

综合上述变量，通过对比机器学习预测结果与 IPCC 经验因子，提取出最能反映不同社区实际工艺水平的中间值（mean）或中值（median）作为分级排放因子，具体核算关键参数与排放因子见表 4.5。最终选择针对不同社区、不同工艺水平的差异化温室气体排放因子推荐。

未来可进一步引入现场监测数据对参数进行校准与验证，如废弃物的水分含量、堆肥过程中的温度、排放因子等。通过参数校准，确保模型计算结果和本地实际相符，提高评估可靠性。

表 4.5 社区堆肥 GHG 排放核算关键参数与排放因子

| 参数类别   | 参数描述                             | 单位                                     | 取值                    | 依据    |
|--------|----------------------------------|--|-----------------------|-------|
| 基础换算因子 | CH <sub>4</sub> 的全球变暖潜能值（100 年）  | kgCO <sub>2</sub> e/kgCH <sub>4</sub>  | 27.2                  | IPCC6 |
|        | N <sub>2</sub> O 的全球变暖潜能值（100 年） | kgCO <sub>2</sub> e/kgN <sub>2</sub> O | 273                   | IPCC6 |
| 运输能耗   | 农林废弃物运输车柴油消耗率                    | t/km                                   | 9.96*10 <sup>-5</sup> | 实地调研  |
|        | 厨余垃圾运输车柴油消耗率                     | L/km                                   | 0.12                  | 实地调研  |
| 运营能耗   | 破碎预处理过程中的耗电量                     | kWh/t                                  | 1.05                  | 实地调研  |
|        | 后处理过程中的耗电量（如粉碎）                  | kWh/t                                  | 1.05                  | 实地调研  |
| 排放因子   | 柴油燃料 CO <sub>2</sub> 排放因子        | tCO <sub>2</sub> /t                    | 3.171                 | IPCC  |
|        | 电力消耗 CO <sub>2</sub> 排放因子        | tCO <sub>2</sub> /MWh                  | 0.9489                | 生态环境部 |
|        | 好氧堆肥的 CH <sub>4</sub> 排放因子       | tCH <sub>4</sub> /t                    | 4×10 <sup>-3</sup>    | IPCC  |
|        | 好氧堆肥的 N <sub>2</sub> O 排放因子      | tN <sub>2</sub> O/t                    | 3×10 <sup>-4</sup>    | IPCC  |
| 碳补偿因子  | 替代工业化肥的碳减排                       | tCO <sub>2</sub> e/t 堆肥                | /                     | 文献调研  |
|        | 替代腐殖酸的碳减排                        | tCO <sub>2</sub> e/t 堆肥                | /                     | 文献调研  |
|        | 固碳效益                             | tC/t 堆肥                                | /                     | 文献调研  |

### 4.3. 社区堆肥碳排放核算结果

为确保代表性与多样性，本章后续章节根据多方调研选取了我国不同区域及功能类型的 12 个社区堆肥项目（表 4.6）作为实证研究对象，12 个社区的具体堆肥原料、操作管理参数见表 4.7。

表 4.6 本章社区堆肥碳减排效益核算研究对象清单与类型分布

|             |   |
|-------------|---|
| 城市居民小区（5 个） | 成都市府城社区、宜昌市泰和苑小区、北京江山赋社区、北海中安止泊园社区、北京丽园社区 |
| 学校（2 个）     | 上海浦进才实验中学南校、湖北恩施学院                        |
| 海岛（2 个）     | 北海涠洲岛、舟山青浜海岛                              |
| 公园/广场（2 个）  | 天津双新食物森林、上海创智农园                           |
| 农村（1 个）     | 宁波箭岭村                                     |



12 个社区中，5 个城市居民小区，2 所学校、2 个海岛、2 个公园/社区花园、1 个农村。根据图 4-7，北海涠洲岛处理量（300 吨/年）显著高于其他社区，主要是其中包含了 5 个分散式堆肥点位，其中 1 个点位主要设置在火龙果种植园，用于处理果园产生的种植废弃物，月处理量超过 10 吨。其他社区堆肥处理量小于 25 吨/年。

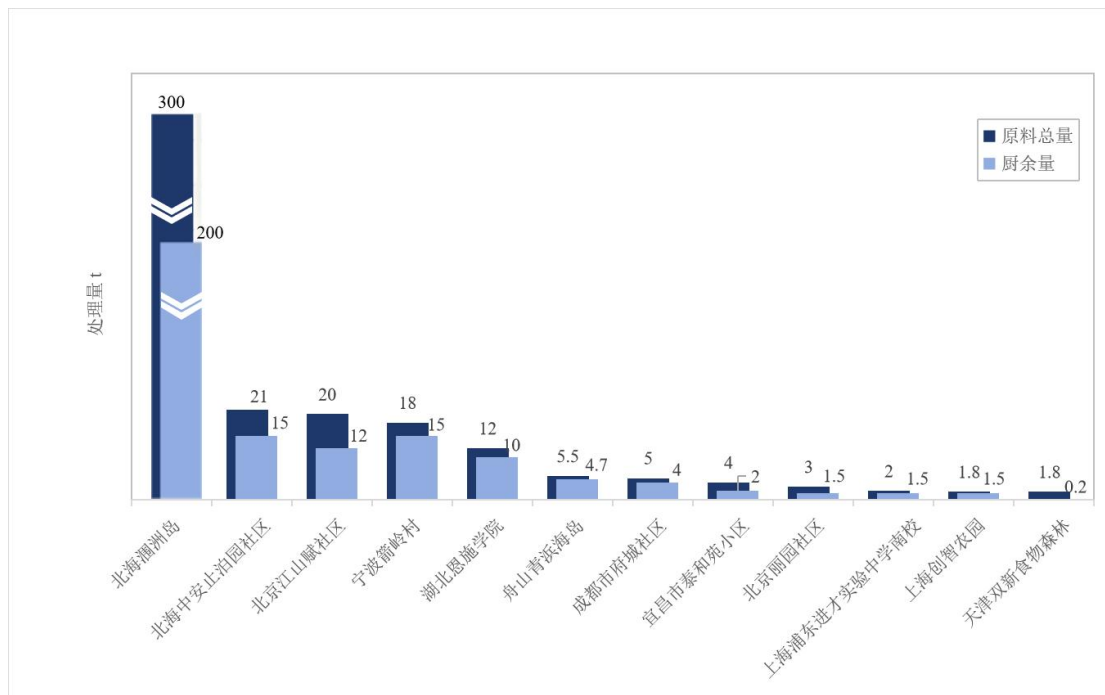


图 4-7 各社区堆肥项目堆肥处理量和厨余处理量

根据 4.2.2.2 章节，社区堆肥碳排放主要包括堆肥过程的直接碳排放、社区堆肥收集运输的碳排放以及堆肥过程能源消耗产生的间接碳排放。需要注意的是，本章后续针对 12 个社区的减碳固碳效益核算结果全部针对年处理量。



表 4.7 本章社区堆肥碳减排效益核算研究对象具体参数

| 社区详情         |        | 堆肥设施                   |            | 堆肥模式 |        |        |        | 原料    |            |      | 堆肥产物        |             |         | 破碎机            |        |
|--------------|--------|------------------------|------------|------|--------|--------|--------|-------|------------|------|-------------|-------------|---------|----------------|--------|
| 社区名称         | 堆肥场景   | 主要堆肥设施                 | 设施大小<br>m³ | 连续性  | 堆肥周期   | 翻堆次数   | 厨余类型   | 厨余新鲜度 | 调节物质       | 其他原料 | 堆肥原料处理量 t/年 | 堆肥厨余处理量 t/年 | 堆肥产出率   | 堆肥产物用途         | 是否有破碎机 |
| 上海浦东进才实验中学南校 | 城市居民小区 | 塑料堆肥设施、密封式堆肥设施         | ≤1         | 间歇堆肥 | 1~2 个月 | 3 次    | 全部为生厨余 | 新鲜    | 落叶         | 否    | 2           | 1.5         | 30%~40% | 社区绿化、小菜园       | 是      |
| 舟山青浜海岛       | 海岛     | 砖砌堆肥设施                 | 1~1.5      | 连续堆肥 | 1 个月以内 | 2 次    | 主要为熟厨余 | 新鲜    | 草屑         | 否    | 5.5         | 4.7         | 51%~60% | 赠礼             | 是      |
| 成都市府城社区      | 城市居民小区 | 木质堆肥设施、金属网方形设施         | ≤1         | 间歇堆肥 | 3 个月以上 | 3 次    | 全部为生厨余 | 新鲜    | 修剪枝条、落叶、木渣 | 是    | 5           | 4           | 30%~40% | 盆栽、社区绿化、售卖     | 是      |
| 宁波箭岭村        | 农村     | 金属网方形设施                | 1~1.5      | 连续堆肥 | 3 个月以上 | 1 次    | 主要为熟厨余 | 新鲜    | 修剪枝条、秸秆    | 否    | 18          | 15          | 51%~60% | 盆栽、社区绿化、小菜园、赠礼 | 是（2）   |
| 宜昌市泰和苑小区     | 城市居民小区 | 金属网方形设施、其他             | 1~1.5      | 连续堆肥 | 1-2 个月 | 5 次及以上 | 生熟厨余相当 | 隔夜    | 落叶、稻壳      | 是    | 4           | 2           | 30%~40% | 盆栽、社区绿化        | 否      |
| 上海创智农园       | 公园/广场  | 金属网圆形设施、其他             | 0.3~0.7    | 间歇堆肥 | 2~3 个月 | 1 次    | 多数为生厨余 | 新鲜    | 修剪枝条、落叶、木渣 | 否    | 1.8         | 1.5         | 51%~60% | 盆栽、社区绿化、赠礼     | 是      |
| 北京江山赋社区      | 城市居民小区 | 木质堆肥设施、金属网圆形设施         | 1~2.5      | 连续堆肥 | 3 个月以上 | 3 次    | 主要为熟厨余 | 新鲜    | 落叶         | 否    | 20          | 12          | 41%~50% | 盆栽、社区绿化、赠礼     | 否      |
| 北海中安止泊园社区    | 城市居民小区 | 木质堆肥设施                 | 1~1.5      | 间歇堆肥 | 3 个月以上 | 5 次及以上 | 全部为生厨余 | 新鲜    | 落叶         | 否    | 21          | 15          | 30%~40% | 社区绿化、赠礼        | 否      |
| 北海涠洲岛        | 海岛     | 木质堆肥设施、金属网圆形设施、塑料堆肥设施  | 1~1.5      | 间歇堆肥 | 3 个月以上 | 5 次及以上 | 多数为生厨余 | 新鲜    | 修剪枝条、落叶    | 否    | 300         | 200         | ≤30%    | 盆栽、社区绿化、小菜园、赠礼 | 否      |
| 北京丽园社区       | 城市居民小区 | 木质堆肥设施                 | ≤1         | 间歇堆肥 | 3 个月以上 | 2 次    | 多数为生厨余 | 新鲜    | 修剪枝条、落叶    | 否    | 3           | 1.5         | 51%~60% | 社区绿化、赠礼        | 否      |
| 湖北恩施学院       | 学校     | 砖砌堆肥设施、金属网方形设施、金属网圆形设施 | 1~1.5      | 间歇堆肥 | 2~3 个月 | 2 次    | 多数为生厨余 | 新鲜    | 修剪枝条、落叶    | 是    | 12          | 10          | ≤30%    | 盆栽、社区绿化、赠礼     | 是      |
| 天津双新食物森林     | 公园/广场  | 木质堆肥设施、金属网圆形设施         | 1.5~2.5    | 间歇堆肥 | 3 个月以上 | 5 次及以上 | 全部为生厨余 | 隔夜    | 落叶、秸秆      | 否    | 1.8         | 0.2         | 41%~50% | 小菜园            | 否      |

### 4.3.1.堆肥过程的直接碳排放

直接碳排放是社区堆肥碳排放的主要来源，其高低直接反映了社区堆肥的处理量和操作管理的科学规范性。

结合 4.2.4 的排放因子修正，考虑到堆肥设施种类，氮源物料/碳源物料的重量比、翻堆频率等对排放因子进行修正，12 个社区堆肥过程的直接碳排放如图 4-8 所示。

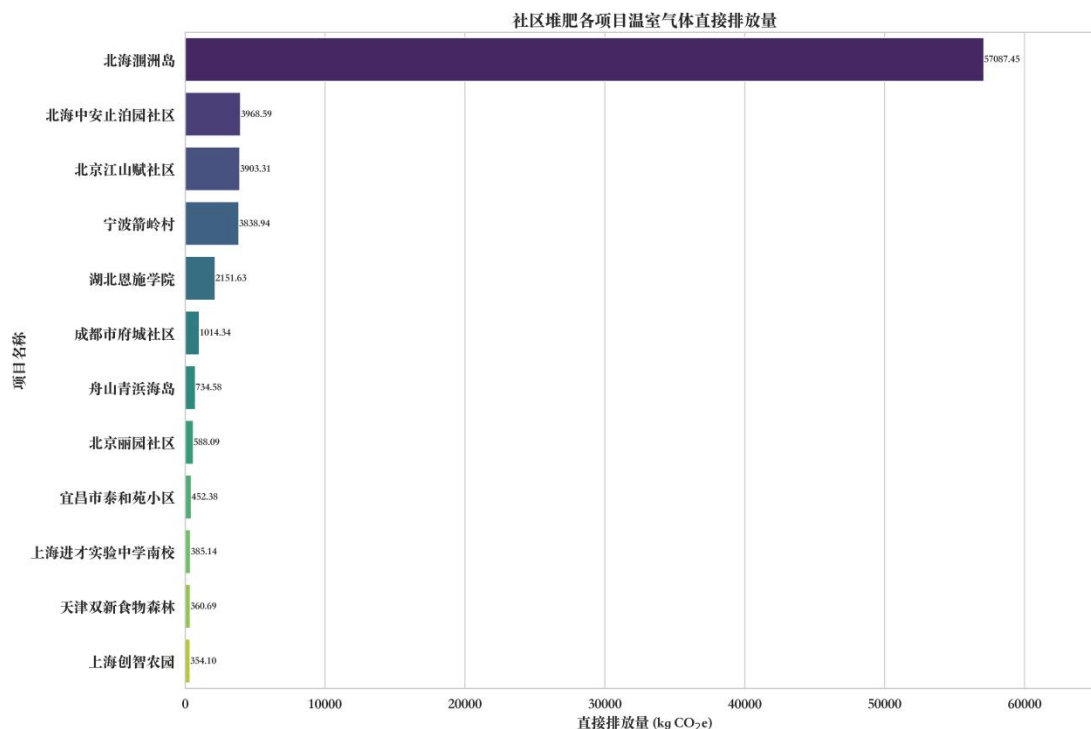


图 4-8 各社区堆肥项目堆肥过程直接排放量

这张图呈现了 12 个社区堆肥项目的直接碳排放量，其中北海涠洲岛的直接排放量高达 57067.45kgCO<sub>2</sub>e，远高于其他项目；北海中安止泊园社区、北京江山赋社区、宁波箭岭村处于 3800~3900kgCO<sub>2</sub>e 的较高梯队；湖北恩施学院、成都市府城社区为中等排放水平；而舟山青浜海岛、北京丽园社区等其余多数项目排放量相对较低。结合图 4-7 分析发现，社区堆肥的直接碳排放量和其总处理量基本呈现正相关关系。尤其以北海涠洲岛社区为例，由于堆肥处理量（300 吨）远高于其他社区，伴随而来的直接碳排放量也超过其他社区 14 倍以上。随着堆肥处理量的增加，堆肥直接碳排放量几乎呈线性增长。这表明，堆肥处理量越大，堆肥过程中产生的直接碳排放就越高，堆肥处理量是驱动堆肥直接碳排放的核心影响因素。

根据图 4-9，进一步分析发现，堆肥处理量和堆肥过程直接碳排放量有紧密关系但不是完全正相关。在相近处理量条件下，各项目的数据点相对于回归线仍存在一定偏离。位于回归线以上的项目意味着其在相同处理量下的直接排放量高

于整体平均水平，可视为“高排放组合”；而位于回归线以下的项目则表现出相对较低的单位排放水平。表 4.7 中堆肥设施种类，氮源物料/碳源物料的重量比（见图 4-10）、翻堆频率都对社区堆肥过程直接碳排放产生影响，但不是核心影响因素。

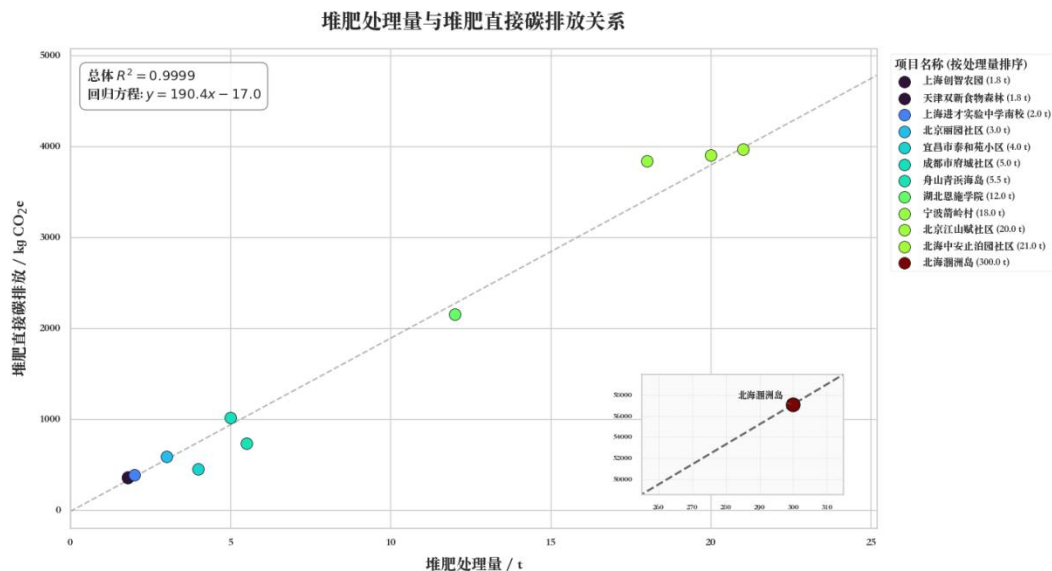


图 4-9 堆肥处理量与堆肥过程直接碳排放关系

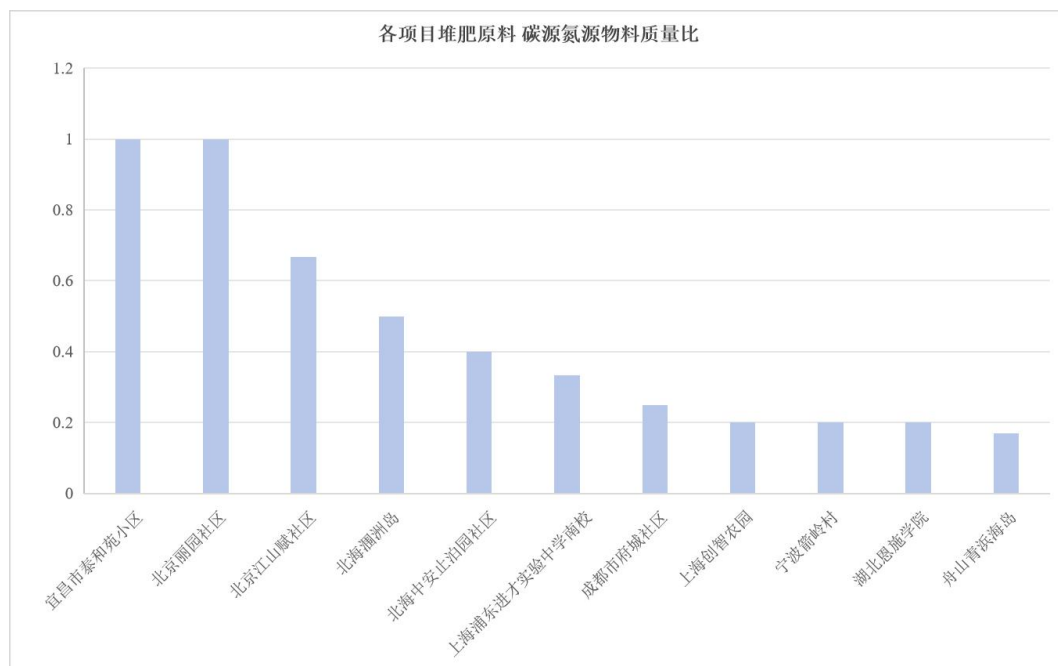


图 4-10 各项目堆肥原料碳源氮源物料质量比

本分析清晰地表明，控制堆肥过程的直接排放是实现社区堆肥低碳化的核心所在。因此，未来的社区堆肥推广策略必须超越简单的设施建设，转向强调技能培训和操作管理指导（见 7.1.2 章节）。针对社区堆肥，需通过合理配比高碳辅料（如落叶、木屑）来提高 C/N 比，并加强翻堆或强制通风管理，以确保堆体

内部的氧气供应，这不仅能有效控制臭气，更是从源头减少  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放的关键措施。

### 4.3.2. 收集运输的碳排放

社区堆肥的收集运输一般来说主要发生在社区内部，根据调研结果，运输工具主要为新能源车。

图 4-11 展示了 12 个社区堆肥项目的收集运输碳排放量（单位： $\text{kgCO}_2\text{e}$ ）。可以看出，各项目运输排放量差异极大。北海涠洲岛的运输排放量高达  $14.51\text{kgCO}_2\text{e}$ ，远远超过其他项目，是绝对的高值点。舟山青浜海岛、天津双新食物森林、宁波箭岭村处于  $0.6\sim 0.8\text{kgCO}_2\text{e}$  区间，属于排放量较高的梯队。湖北恩施学院、北京丽园社区处于  $0.5\sim 0.6\text{kgCO}_2\text{e}$  区间。北京江山赋社区、北海中安止泊园社区处于  $0.2\sim 0.4\text{kgCO}_2\text{e}$  区间。上海进才实验中学南校、成都市府城社区、宜昌市泰和苑小区、上海创智农园排放量极低，均在  $0.14\text{kgCO}_2\text{e}$  以下。整体而言，北海涠洲岛的运输排放量显著高于其他项目，其余多数项目运输排放量较低且层次分明。

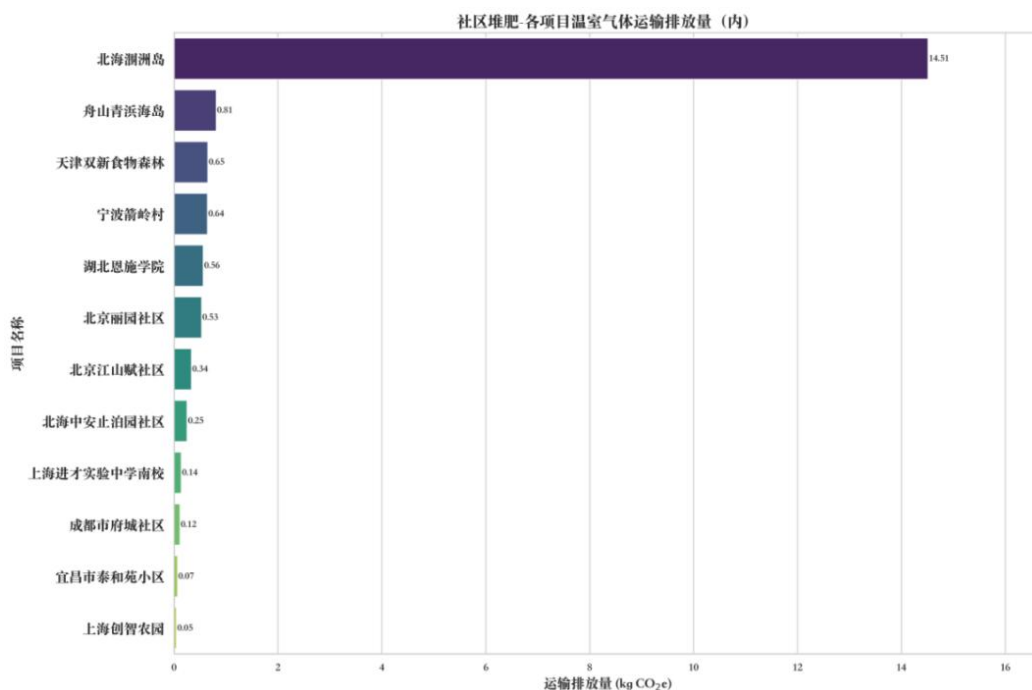


图 4-11 不同社区堆肥点收集运输的碳排放量

产生这样的差异主要原因是社区的面积大小。农村（如宁波箭岭村）、海岛（如北海涠洲岛）本身的社区占地面积较大，堆肥原料来源较分散，运输半径更大，会产生较高的运输半径。要减少社区堆肥项目的运输碳排放，可从点位布局、运输环节的规划、管理模式更新、运输工具更新等多维度入手，有效降低社区堆肥项目的运输排放，助力堆肥项目的低碳化运营。具体建议如下：



(1) 鼓励社区内部自行收集、短距离运输堆肥原料，减少长距离外部运输。例如，海岛、面积较大的居民小区或公园场景可在内部设置分散式堆肥点位，减少需要运输的堆肥原料总量。

(2) 根据堆肥产生量的变化（如季节、社区人口流动）灵活调整运输频次。在产生量低的时段减少运输次数，避免空跑或轻载运输。

(3) 优化堆肥原料分类与预处理：在社区端做好堆肥原料的分类和初步压缩，提高单位运输量的堆肥处理效率，减少运输趟数。

(4) 逐步替换燃油运输车辆，选用电动货车、自行车（适用于短距离）等低碳交通工具，从源头上降低运输的碳排放强度。其中，新能源运输（如电力）具有显著环保优势，其较低的排放因子值（通常比柴油低 30%~70%）允许项目在更大范围内维持气候效益。

总体而言，运输环节是影响社区堆肥项目整体效益的关键因素之一。堆肥社区的面积大小对其运输碳排放有决定性影响。虽然社区堆肥在多数场景下能维持较低的运输排放，但在公园、海岛等大型社区选址和模式设计时，应将运输方案的优化（如路径规划、运载工具选择）作为减排的关键策略，考虑分散式布点以尽量减少原料的长距离收运，以确保项目的综合效益最大化。

### 4.3.3.堆肥过程的间接碳排放

堆肥过程的间接碳排放主要来自于预处理（如辅料破碎）、后处理（如堆肥产物破碎）和翻堆（如使用耗能翻堆工具/设施）产生的能耗以及堆肥过程中的水耗，结合堆肥处理量计算得到。

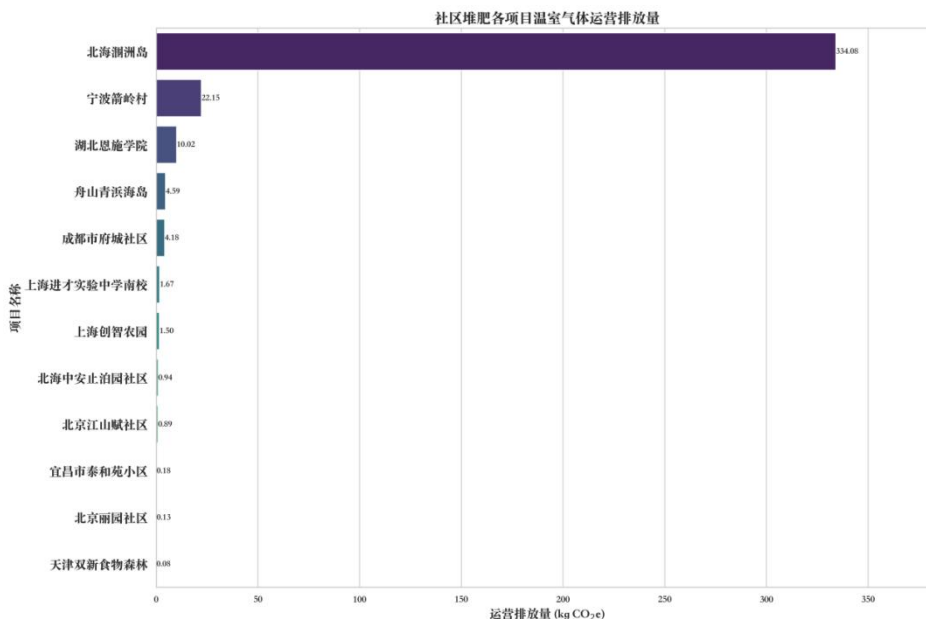


图 4-12 社区堆肥各项目堆肥过程间接碳排放量

图 4-12 详细展示了不同社区堆肥在运营环节产生的间接碳排放量（单位： $\text{kgCO}_2\text{e}$ ）。与运输环节相比，运营环节的排放在不同场景和项目间表现出显著的异质性（ $0.10\sim 21.73\text{kgCO}_2\text{e}$ ）。

该图最显著的特征是，不同项目间的间接碳排放量存在巨大且显著的差异。北海涠洲岛的间接碳排放量最高（ $334.08\text{kgCO}_2\text{e}$ ），主要原因是涠洲岛的堆肥处理量远大于其他社区，且在火龙果园区堆肥时，由于处理量大，使用破碎机和翻堆辅助设备。

宁波箭岭村项目是一个显著的异常值（ $22.35\text{kgCO}_2\text{e}$ ），虽然其处理量并非第二大，其间接碳排放量远高于其他项目。这主要是因为箭岭村同时配备 1 台秸秆破碎机和 1 台堆肥产物磨碎机，加之连续堆肥的模式，其碳排量相对较高。

而宜昌市泰和苑小区、北京江山赋社区、北海中安止泊园社区、北京丽园社区、天津双新食物森林社区开展堆肥均未配备破碎机（或未使用），堆肥主要氮源为社区内/周边产生的落叶，暂未使用园林绿化修剪树枝。这几个社区的堆肥间接碳排放量均低于  $1\text{kgCO}_2\text{e}$ ，和箭岭村相差超过 20 倍，和涠洲岛相差超过 300 倍。



图 4-13 青浜岛和箭岭村堆肥使用的破碎机

通过对堆肥过程的间接碳排放进行核算，发现社区堆肥用水量普遍小到可忽略不计，堆肥项目是否使用耗能设备是决定其间接排放高低的关键因素：优先人力替代机械或尽量避免使用高能耗设备是社区堆肥区别于其他废弃物处理方式的显著特点之一。堆肥过程中，添加自然通风管、调整好堆体碳氮比、含水率和孔隙度等能够避免使用大规模堆肥过程中使用机械翻堆的概率。

#### 4.3.4.碳排放核算

根据 4.2.2.2 章节，社区堆肥碳排放（ $E_{CC}$ ）主要包括堆肥过程的直接碳排放（ $E_{CC,direct}$ ）、社区堆肥收集运输的碳排放（ $E_{CC,transport}$ ）以及堆肥过程能源消耗产

生的间接碳排放（ $E_{CC,transport}$ ），根据公式（4-3）计算，12 个社区的堆肥总碳排放（ $E_{CC}$ ）计算结果在图 4-14 呈现。

在这 12 个社区堆肥点中，社区堆肥总碳排放量呈现出极大的差异。北海涠洲岛的总碳排放量高达 57436.04kgCO<sub>2</sub>e，远远超过其他堆肥点；北海中安止泊园社区、北京江山赋社区、宁波箭岭村的排放量处于 3800~3900kgCO<sub>2</sub>e 的区间，属于排放量较高的梯队；湖北恩施学院排放量为 2162.21kgCO<sub>2</sub>e，成都市府城社区为 1018.64kgCO<sub>2</sub>e，处于中等水平；而舟山青浜海岛、北京丽园社区、宜昌市泰和苑小区、上海进才实验中学南校、天津双新食物森林、上海创智农园的排放量则相对较低，均在 355.65~588.76kgCO<sub>2</sub>e 之间。整体来看，不同社区堆肥点的总碳排放量悬殊，北海涠洲岛是明显的高排放点，其余多数堆肥点排放量相对较低且层次分明。

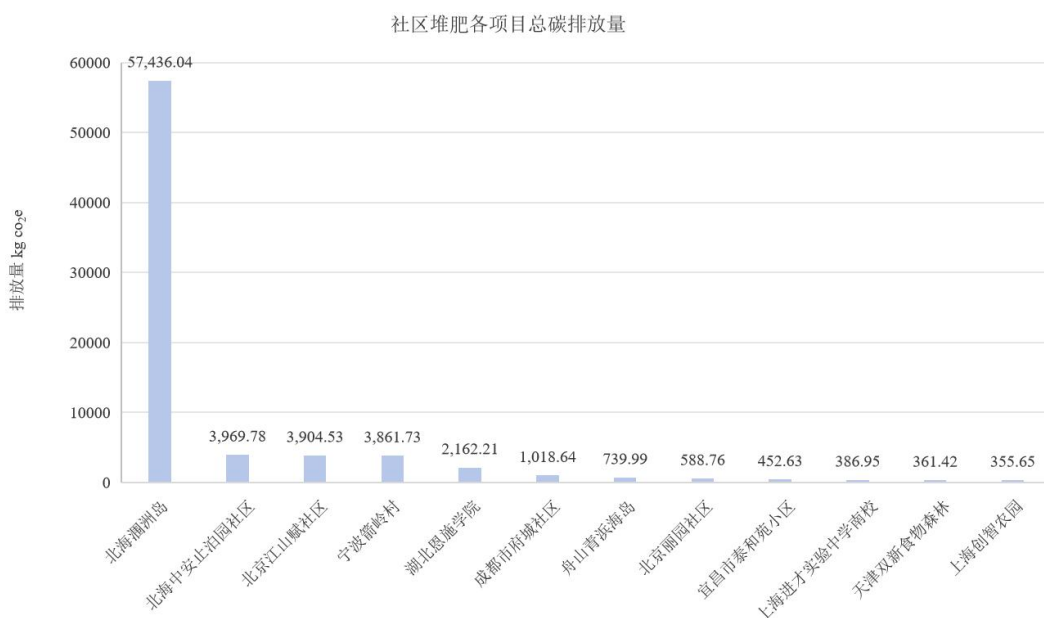


图 4-14 社区堆肥各项目堆肥总碳排放量

结合表 4.8，从堆肥处理量、总排放量及排放结构等维度进一步分析这 12 个社区堆肥项目的碳排放特征：

堆肥处理量是影响总排放量的关键因素之一。北海涠洲岛堆肥处理量达 300 吨，其总排放量（57436.041kgCO<sub>2</sub>e）最高；宁波箭岭村、北海中安止泊园社区、北京江山赋社区处理量在 18~21 吨区间，总排放量处于 3861~3969kgCO<sub>2</sub>e 的较高水平；而处理量在 2~5.5 吨的上海进才实验中学南校、舟山青浜海岛、成都市府城社区等，总排放量显著降低（355~1018kgCO<sub>2</sub>e）。可见，堆肥处理量越大，总排放量通常越高，但北海涠洲岛的高处理量（300 吨）使其总排放呈现 量级式 领先。

从排放构成看，堆肥直接排放是总排放的绝对主力，运输排放和运营排放占比极低。以北海涠洲岛为例，堆肥直接排放达 57087.450kgCO<sub>2</sub>e，占总排放的 99.39%；宁波箭岭村堆肥直接排放 3838.935kgCO<sub>2</sub>e，占比 99.41%；即使是排放量较低的上海进才实验中学南校，堆肥直接排放（385.144 kg CO<sub>2</sub>e）也占总排放的 99.53%。这说明，堆肥过程的直接碳排放是社区堆肥项目碳排放的核心来源，运输和运营环节的排放对总排放影响极小。

表 4.8 12 个社区堆肥项目碳排放核算结果

| 堆肥社区名称     | 分类             | 堆肥处理量<br>(吨) | 项目总排放<br>(kgCO <sub>2</sub> e) | 项目一运输<br>排放<br>(kgCO <sub>2</sub> e) | 项目一运营<br>排放<br>(kgCO <sub>2</sub> e) | 项目一堆肥直<br>接排放<br>(kgCO <sub>2</sub> e) |
|------------|----------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| 上海进才实验中学南校 | 学校             | 2            | 386.954                        | 0.140                                | 1.670                                | 385.144                                |
| 舟山青浜海岛     | 海岛             | 5.5          | 739.991                        | 0.814                                | 4.594                                | 734.584                                |
| 成都市府城社区    | 城市居民小区         | 5            | 1018.636                       | 0.116                                | 4.176                                | 1014.344                               |
| 宁波箭岭村      | 农村             | 18           | 3861.730                       | 0.645                                | 22.150                               | 3838.935                               |
| 宜昌市泰和苑小区   | 城市居民小区         | 4            | 452.627                        | 0.069                                | 0.178                                | 452.380                                |
| 上海创智农园     | 公园/广场等<br>公共场所 | 1.8          | 355.647                        | 0.046                                | 1.503                                | 354.098                                |
| 北京江山赋社区    | 城市居民小区         | 20           | 3904.533                       | 0.336                                | 0.891                                | 3903.306                               |
| 北海中安止泊园社区  | 城市居民小区         | 21           | 3969.783                       | 0.254                                | 0.935                                | 3968.593                               |
| 北海涠洲岛      | 海岛             | 300          | 57436.041                      | 14.511                               | 334.080                              | 57087.450                              |
| 北京丽园社区     | 城市居民小区         | 3            | 588.755                        | 0.533                                | 0.134                                | 588.089                                |
| 湖北恩施学院     | 学校             | 12           | 2162.214                       | 0.565                                | 10.022                               | 2151.626                               |
| 天津双新食物森林   | 公园/广场等<br>公共场所 | 1.8          | 361.419                        | 0.653                                | 0.080                                | 360.686                                |

## 4.4. 社区堆肥碳收益核算

堆肥产物作为优质的土壤改良剂和有机肥料，其应用能带来额外的碳收益。这主要体现在两个方面：一是替代化肥，从而避免了工业化肥在生产过程中巨大的能源消耗和温室气体排放；二是提升土壤碳汇，堆肥中的稳定有机质（腐殖质）被施入土壤，能有效增加土壤有机碳库（SOC），实现长期的碳封存/固碳。

### 4.4.1.替代化肥

根据 3.2 章节，每吨社区堆肥产物可替代 55.58~148.73 kg 的化肥，能够避免相关化肥生产带来的高能耗生产排放。通过具体案例来看（图 4-15），12 个堆肥项目堆肥产物最大能替代 123.06kg 化肥（宁波箭岭村），最小能替代 12.29kg 化肥（北海涠洲岛）。

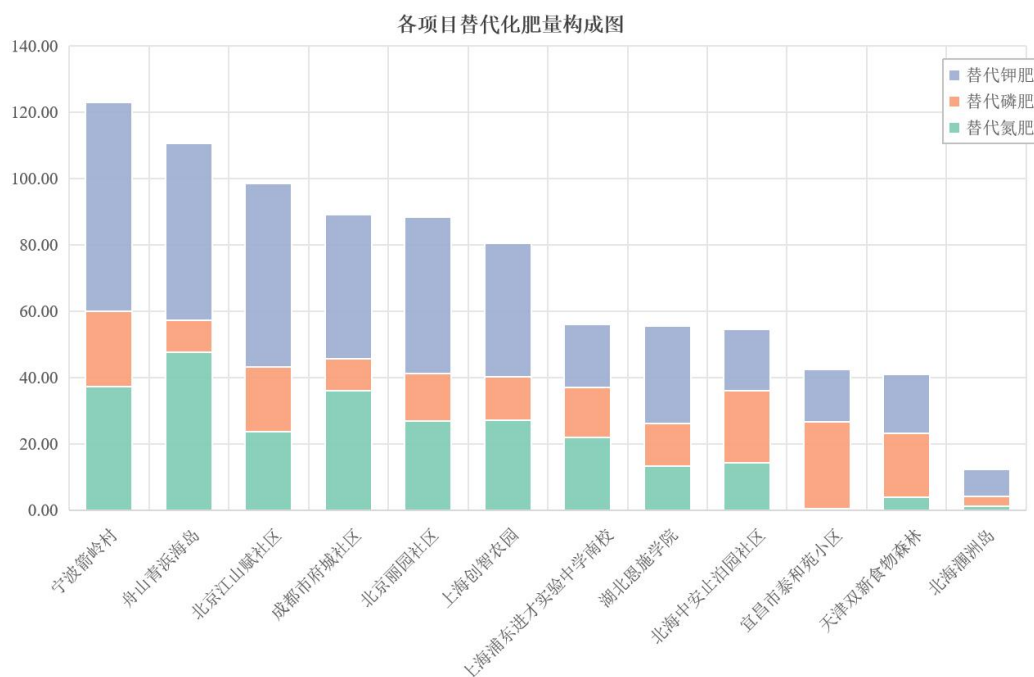


图 4-15 社区堆肥各项目替代化肥构成

整体而言，1 吨堆肥产物可避免约 55kgCO<sub>2</sub>e 的化肥生产排放。从碳减排效益构成来看，工业氮肥的生产（尤其是合成氨环节）是一个能源高度密集、碳排放极高的过程，排放因子约 1.78~7.759kgCO<sub>2</sub>e/kgN，磷肥和钾肥的排放因子约 2.332kgCO<sub>2</sub>e/kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 0.660kgCO<sub>2</sub>e/kgK<sub>2</sub>O。通过具体案例来看（图 4-16），在每一个社区堆肥项目中，氮肥减排效益都是替代化肥的最主要部分，其次是磷肥替代，钾肥替代减排效益最小。

以典型项目为例，江山赋社区年替代效益超过 12000kgCO<sub>2</sub>e，遥遥领先于其他项目，其中氮肥替代占比 64.92%。北海涠洲岛年替代效益 4500kgCO<sub>2</sub>e，其中磷肥替代占比最大为 75.25%，大于氮肥替代减排效益，这与该项目堆肥产物总氮含量仅为 0.06%有直接关系。说明社区堆肥替代化肥减排效益除了受排放因子影响，各养分含量（特别是氮含量）对减排效益也有明显影响。因此，堆肥原料含氮量和堆肥过程减少氮损失至关重要。



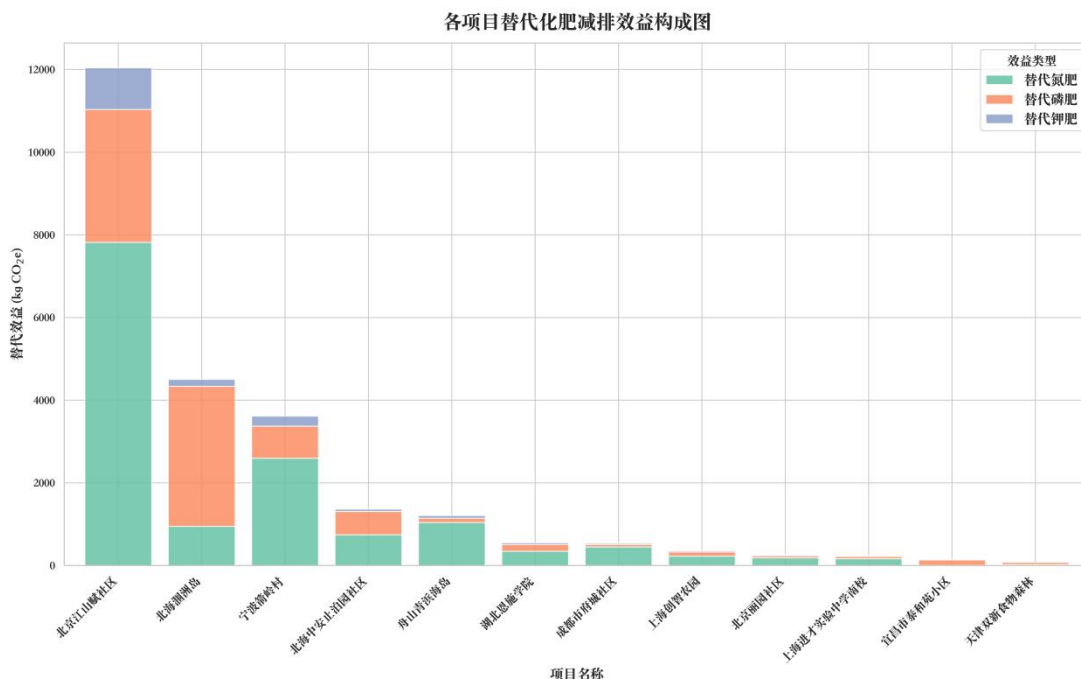


图 4-16 社区堆肥各项目替代化肥的减排效益构成

研究发现，社区堆肥产物作为土壤改良剂和肥料，其气候效益主要体现在对高碳足迹的工业氮肥的有效替代上。尽管替代磷肥和钾肥也有贡献，但与氮肥相比几乎可以忽略不计。这一发现为评估和提升社区堆肥的气候价值指明了方向：最大化堆肥产物中氮元素的有效性，并确保其能够被充分利用以替代工业氮肥，是实现其气候效益最大化的关键路径。同时，项目间的巨大差异也表明，运营规模和产物管理是决定最终效益的重要因素。

## 4.4.2.固碳效益

**固碳效益 (R<sub>soil</sub>)** 是指堆肥产物施用提升土壤有机碳 (SOC) 含量，实现长期碳封存/固碳。堆肥产物被公认为增加土壤中碳含量的最佳手段之一。有机碳是土壤有机质的核心，约占土壤有机质的 58%。从碳循环角度看 (图 4-17)，堆肥产物中的有机质进入土壤后分解速率较慢，其中一部分可形成稳定的“土壤碳库”。

腐殖酸是土壤中兼具改良与固碳功能的关键物质，既能促进土壤团粒结构形成、活化养分助力植物生长，又能长期留存碳元素支撑土壤碳汇。由于堆肥产物施入土壤中的腐殖质形成和固碳效应的跟踪需要漫长的时间，本节通过堆肥产物替代腐殖质的能力来初步估算其固碳收益。腐殖酸可以从堆肥产物、有机肥中提取，通常堆肥有机质含量越高，腐殖化程度越高，腐殖酸含量也越高 (见图 4-16)。

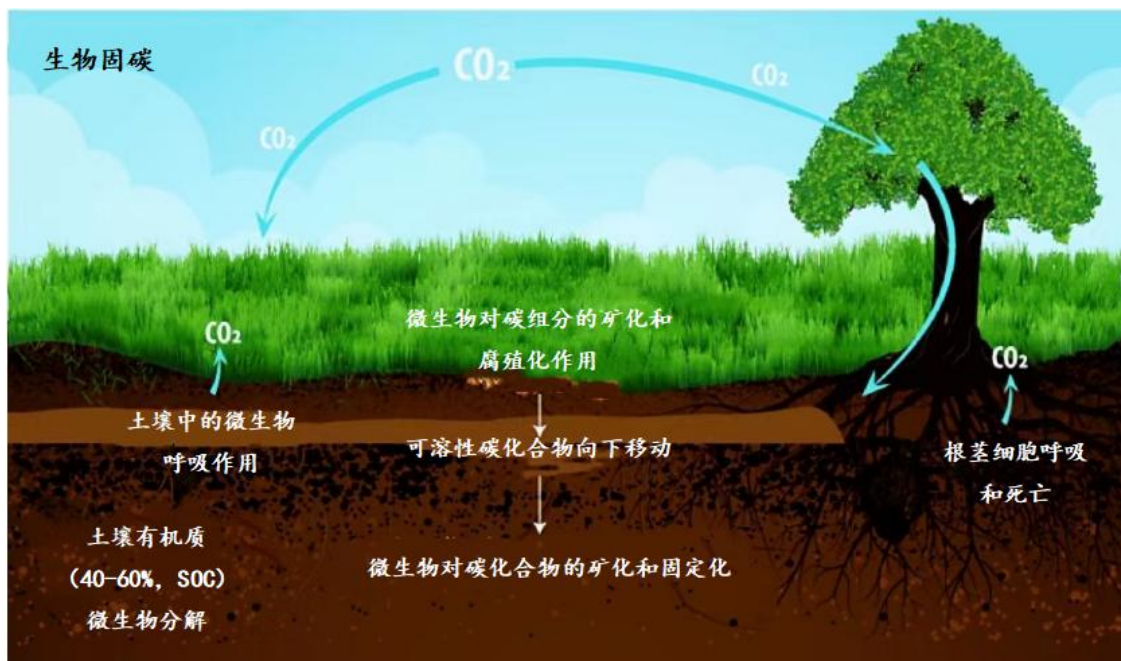


图 4-17 大气—植被—土壤碳循环体系：图片来源于网络



图 4-18 社区堆肥各项目堆肥产物有机质含量

从 3.2 节知道，社区堆肥产物有机质含量极高，基本超过 40%（图 4-19），这意味着高度腐熟的社区堆肥中将含有丰富腐殖酸资源。这里对各社区堆肥项目因其产品替代工业制腐殖酸而产生的温室气体减排效益进行了量化比较（图 4-20）。可以分析得出，社区堆肥各项目的单位腐殖酸替代碳排效益范围主要为 512.51~744.95kgCO<sub>2</sub>e，单位腐殖酸替代碳排效益与有机质含量成正相关。其中上海进才实验中学堆肥产物有机质含量达 84.6%，其单位替代碳排效益为最高 933.984kgCO<sub>2</sub>e。

根据图 4-21，年腐殖酸替代碳排效益的大小，直接取决于年堆肥产物产量与堆肥产物有机质含量两大核心因素，且二者的极值差异对效益的影响程度更为显著。其中，涠洲岛项目的堆肥产物年产量高达 90 吨，其对应的年腐殖酸替代碳排效益达 40727.66kgCO<sub>2</sub>e，该效益值远高于其他对比项目，凸显出高堆肥产量对碳排替代效益的主导性提升作用。以年堆肥处理量 15~20 吨的社区堆肥点位为例，其年产堆肥约 5.5~7.3 吨，对应的年均固碳潜力为 0.83~1.46 吨碳，折算约 3.04~5.35tCO<sub>2</sub>e。

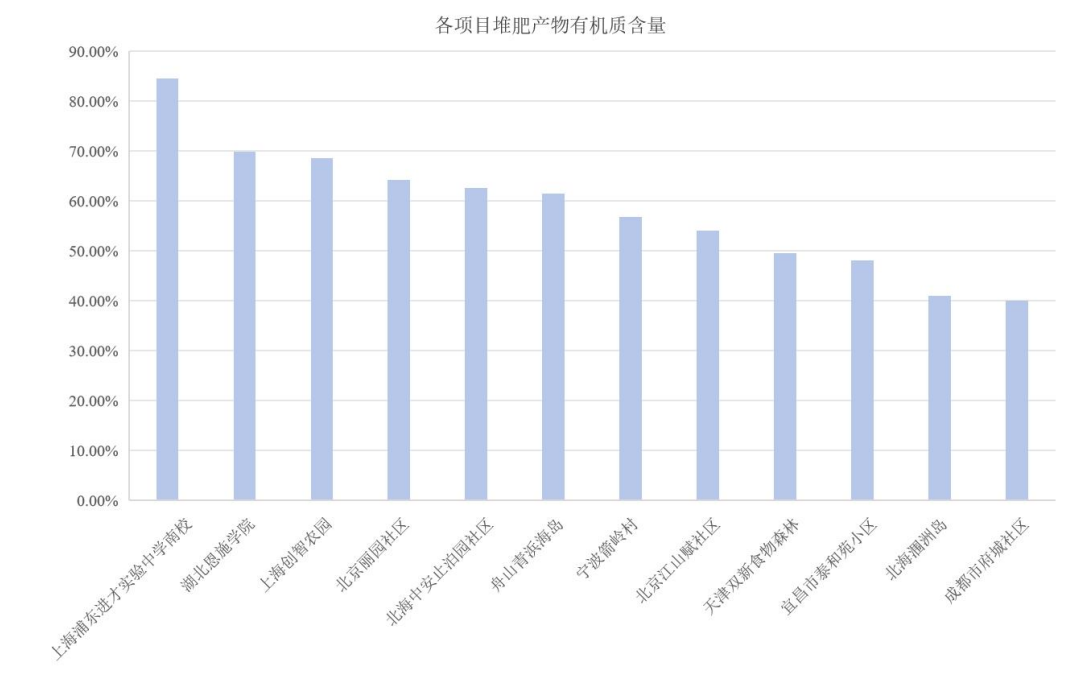


图 4-19 社区堆肥各项目堆肥产物有机质含量

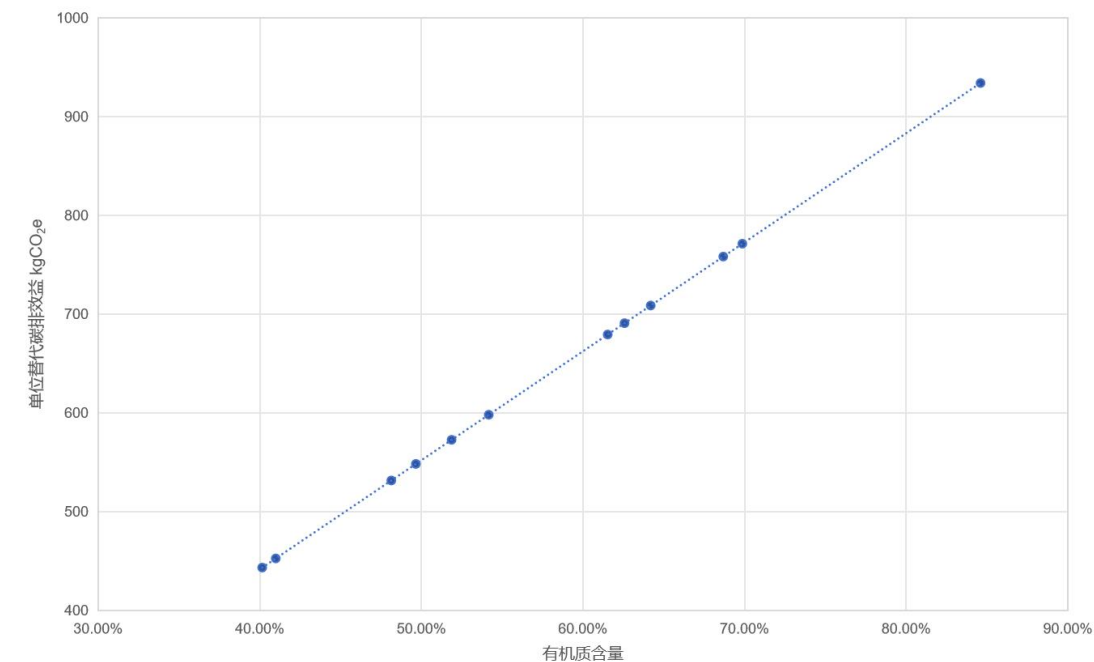


图 4-20 有机质含量和单位替代碳排放效益关系

当不同项目的堆肥产物产量处于相近水平时，堆肥产物有机质含量对年腐殖酸替代碳排放效益的影响权重会显著上升。以成都府城社区与北京丽园社区为例，两项目的堆肥产物年产量分别为 1.75t 和 1.66t，产量差异较小；但二者的年腐殖酸替代碳排放效益却呈现明显差距，分别为 775.70kgCO<sub>2</sub>e 和 1179.91kgCO<sub>2</sub>e。进一步分析可知，该效益差异的核心驱动因素为有机质含量的不同：成都府城社区堆

肥产物的有机质含量仅为 40%，而北京丽园社区堆肥产物的有机质含量高达 64%，较高的有机质含量直接推动了碳排替代效益的提升。

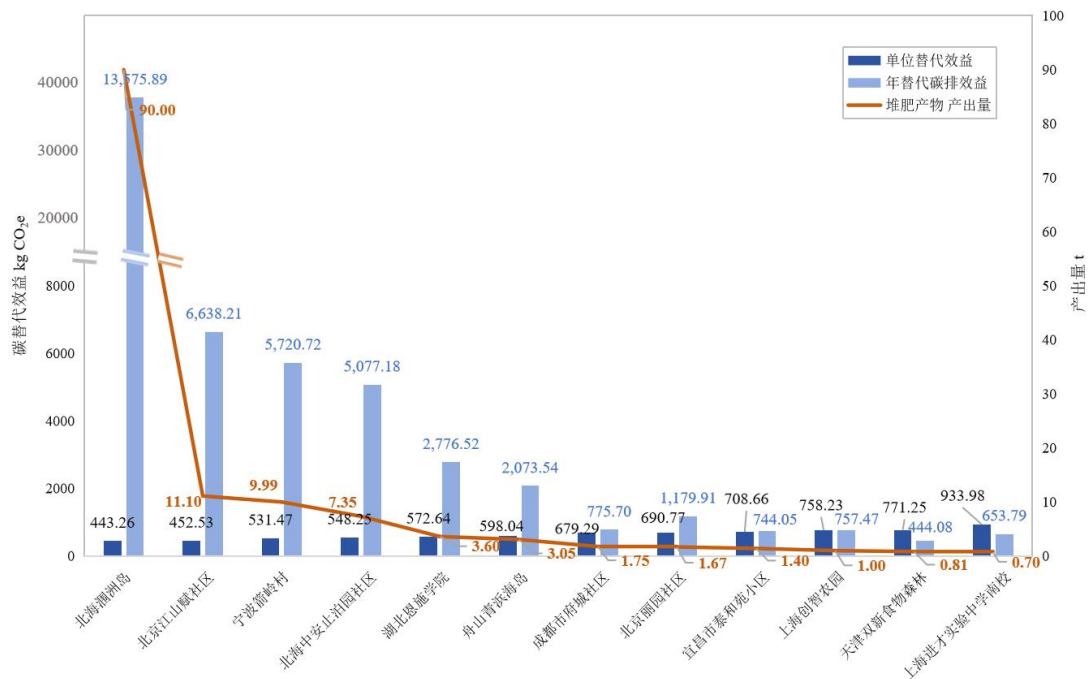


图 4-21 各项目腐殖酸替代碳排效益

天津双新事物森林点位通过落叶堆肥产物改良公园内的土壤，经过 2 年的改良，改良的土壤有机质含量，高的点位达到 4.22%，低的点位也达到 2.4%，远高于公园内其他未改良地块的土壤有机质含量（1.8%）。长沙金色比华利小区通过厨余堆肥产物改良小区内的土壤，经过 2 年的改良，土壤有机质含量从 6.3% 提升至 10.7%（如图 3-3）。

据 IPCC 数据估算，每 1 吨堆肥产物施入土壤后，年均可实现 0.15~0.20 吨碳的固存（以有机碳形式储存）。同步的，如果提高土壤中的碳含量（有机质含量），土壤很可能得到改良。长期施用结构更佳（容重降低），可改善土壤持水能力（增加 2.4%~3%）和养分释放，减少灌溉和化肥用量，通常产量也会更高，并在长期尺度上实现 碳汇功能与气候缓解效益。

#### 4.4.3.碳收益核算

根据 4.2.2.3 章节，社区堆肥社区碳收益（ $R_{cc}$ ）主要包括堆肥产物的替代效益（ $R_{sub}$ ）与堆肥产物施用于土壤的固碳效益（ $R_{soil}$ ），根据公式（4-4）计算，12 个社区的堆肥碳收益（ $R_{cc}$ ）计算结果在图 4-22 呈现。

从具体数值看，12 个社区的堆肥碳收益呈现出两极分化的特点。北海涠洲岛和北京江山赋社区的碳收益远超其他项目（接近或超过 40000kgCO<sub>2</sub>e），属于第一梯队，其收益量级是其他多数项目的数倍甚至数十倍。宁波箭岭村、北海中

安止泊园社区处于第二梯队，收益在 5000~10000kgCO<sub>2</sub>e 区间。湖北恩施学院、舟山青浜海岛及之后的项目（如上海创智农园、天津市府城社区等）均属于第三梯队，收益普遍在 5000kgCO<sub>2</sub> 以下，天津双新食物森林（528.58 kgCO<sub>2</sub>）是收益最低的项目。

这种分层和堆肥规模与堆肥产物品质有密切相关。北海涠洲岛的堆肥处理量（300 吨）远超过其他社区，其堆肥产出率高，堆肥处理的基数大直接推高了碳收益。但另一方面，由于涠洲岛的堆肥产物养分不足（低于 1%）、有机质含量偏低（40.99%）导致其替代化肥的碳减排量远不如其他社区，导致其总体碳收益没有和其堆肥处理量成正比；而江山赋社区的年堆肥处理量 21 吨，但其堆肥产物养分高（超过 5%），有机质含量较高（54.17%）是推高碳收益的直接原因。

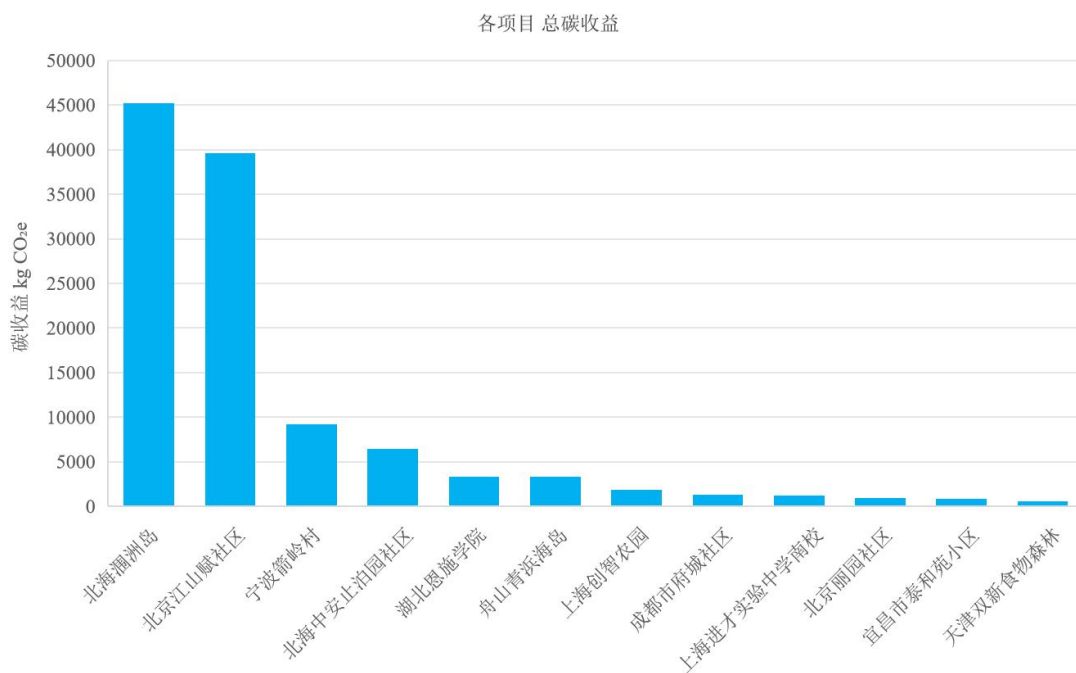


图 4-22 社区堆肥各项目堆肥碳收益

基于上述社区堆肥碳收益的分层特征及影响因素，后续在推动社区堆肥时，应重点推动堆肥优化堆肥技术和操作管理水平，通过优化堆肥工艺（堆肥原料配方、温湿度、翻堆次数、堆肥周期等），提升堆肥产物的养分和有机质含量，从而提高其替代化肥的碳减排贡献和替代腐殖酸的固碳收益，使碳收益与处理规模更匹配。



## 4.5. 社区堆肥碳减排效益核算

本节主要核算社区堆肥的碳减排效益，从社区堆肥碳收支平衡和净气候效益两个方面展开，并通过关键参数的敏感性分析进一步识别社区堆肥气候变化效益的核心影响因素。

### 4.5.1. 社区堆肥碳收支平衡

社区堆肥的碳收支平衡需要结合社区堆肥碳支出（4.3 章节）和社区堆肥碳收益（4.4 章节）两个方面展开分析，最终通过净气候（碳收益与碳支出的差值）指标评价，若为正值则为碳源（红色），说明社区堆肥暂且不具备减碳条件；负值则为碳汇（绿色），表示社区堆肥够实现减碳。绝对值越大，碳源、碳汇强度越高。

根据图 4-23 和 4-24 以及表 4.9，12 个项目，仅有北海涠洲岛堆肥是碳源，其他项目堆肥都有一定的减碳效应。具体分析如下：

- 北海涠洲岛的堆肥处理量远大于其他社区，但其综合碳支出和碳收益后未能实现平衡，核心原因仍与其堆肥产物价值低有关，无法覆盖大量堆肥带来的碳排放。
- 对剩余 11 个碳汇社区进一步分析发现，宁波箭岭村和北京江山赋因处理量较大且堆肥产物品质较高（替代化肥、土壤碳汇总量剧增），净碳汇绝对值显著高于其他社区（超强碳汇）。
- 北海止泊园社区和舟山青浜岛属于高强度碳汇，但这 2 个社区碳汇强度高的原因有所差异。结合图 4-15 和图 4-20，北海止泊园社区和舟山青浜岛堆肥产物的有机质含量都高于 60%，但青浜岛堆肥产物同时具备高养分的特点，尤其是 TN 含量高达 2.21%，远高于其他社区，是其凭借较低的堆肥处理量实现高强度碳汇的核心原因。
- 湖北恩施学院和北京丽园社区属于较高强度碳汇，2 个社区相比，丽园社区也以较低的堆肥处理量取得了较高的碳汇效益，主要原因有 2：（1）社区堆肥产物的品质较高，有机质含量超过 60%，总养分含量超过 4.5%；（2）社区堆肥碳排放较低，尤其是没有使用破碎机降低了堆肥过程间接排放。而湖北恩施学院相对而言，其堆肥处理量大带来的直接碳排放较高，但堆肥产物总养分稍低（低于 3%）。
- 天津双新食物森林、成都市府城社区、上海进才实验中学南校、宜昌市泰和苑小区和上海创智农园均属于中强度碳汇，这些社区的堆肥处理量本身偏小，碳汇强度不高，可以适当增加处理量或改进堆肥管理模式进一步提升。

综上，社区堆肥的碳收支平衡并非一成不变，而是由堆肥规模、堆肥管理方法、堆肥产物价值等因素共同决定。若要最大化堆肥的碳汇价值，需在“扩大堆肥处理规模、升级低碳技术、提升堆肥产物价值”三个维度同步发力。

表 4.9 12 个社区堆肥项目碳收支平衡核算结果

| 项目名称       | 分类     | 堆肥处理量 (t) | 总排放 (kg CO <sub>2</sub> e) | 总收益 (kg CO <sub>2</sub> e) | 净排放 (kg CO <sub>2</sub> e) | 碳收支属性        |
|------------|--------|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| 北海涠洲岛      | 海岛     | 300       | 57436.04                   | 45229.16                   | 12206.88                   | 碳源<br>(高强度)  |
| 天津双新食物森林   | 公园     | 1.8       | 361.42                     | 528.58                     | -167.16                    | 碳汇<br>(中强度)  |
| 成都市府城社区    | 城市居民小区 | 5         | 1018.64                    | 1313.83                    | -295.19                    |              |
| 上海进才实验中学南校 | 学校     | 2         | 386.95                     | 805.91                     | -418.96                    |              |
| 宜昌市泰和苑小区   | 城市居民小区 | 4         | 452.63                     | 887.32                     | -434.69                    |              |
| 上海创智农园     | 公园     | 1.8       | 355.65                     | 936.95                     | -581.30                    |              |
| 北京丽园社区     | 城市居民小区 | 3         | 588.76                     | 1617.03                    | -1028.28                   | 碳汇<br>(较高强度) |
| 湖北恩施学院     | 学校     | 12        | 2162.21                    | 3328.52                    | -1166.31                   | 碳汇<br>(高强度)  |
| 北海中安止泊园社区  | 城市居民小区 | 21        | 3969.78                    | 6440.00                    | -2470.21                   |              |
| 舟山青浜海岛     | 海岛     | 5.5       | 739.99                     | 3282.04                    | -2542.05                   | 碳汇<br>(超强度)  |
| 宁波箭岭村      | 农村     | 18        | 3861.73                    | 9437.81                    | -5576.08                   | 碳汇<br>(超强度)  |
| 北京江山赋社区    | 城市居民小区 | 20        | 3904.53                    | 9539.56                    | -5635.03                   |              |

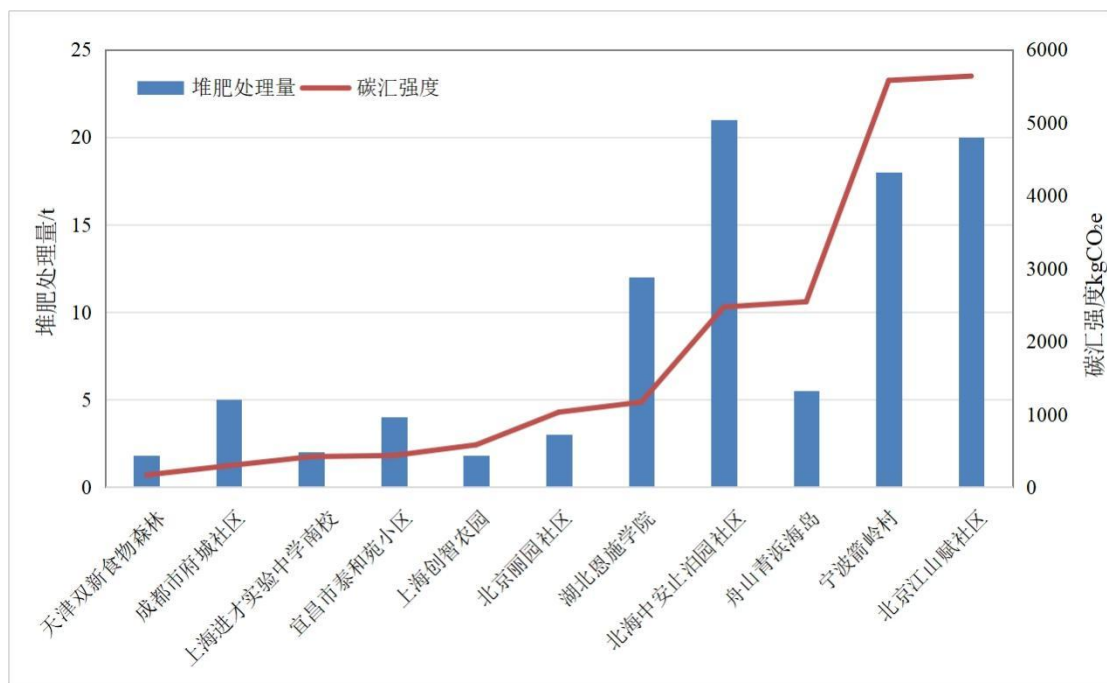
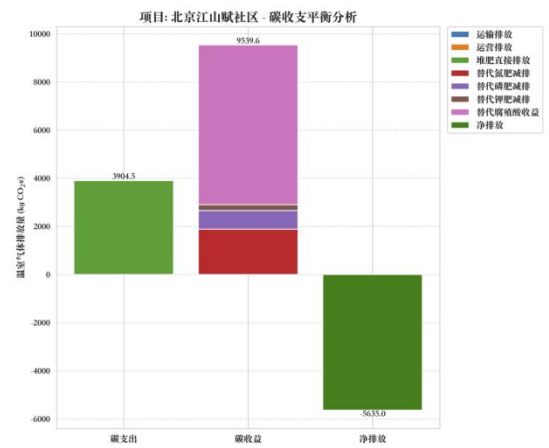
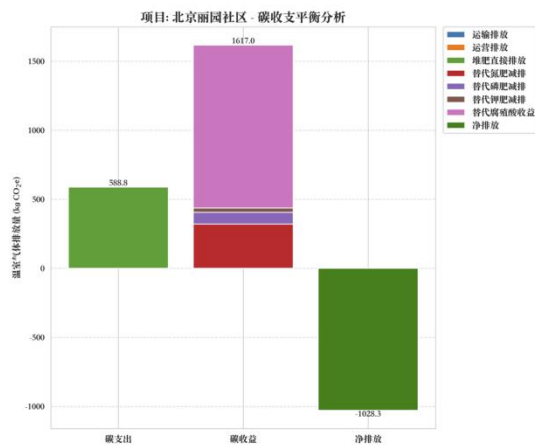
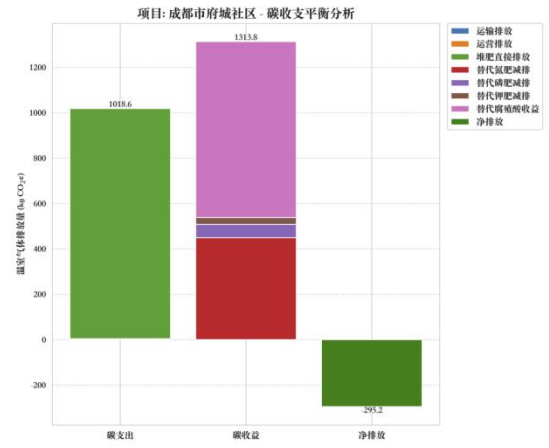
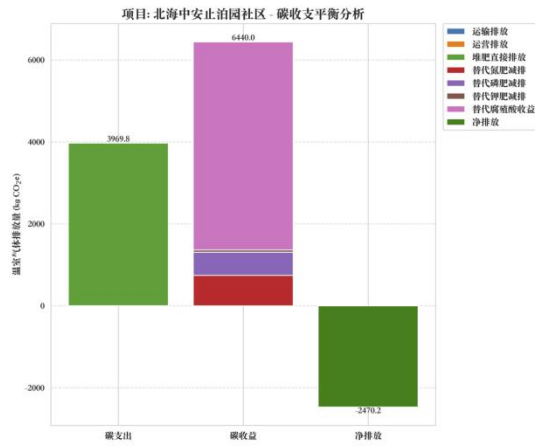
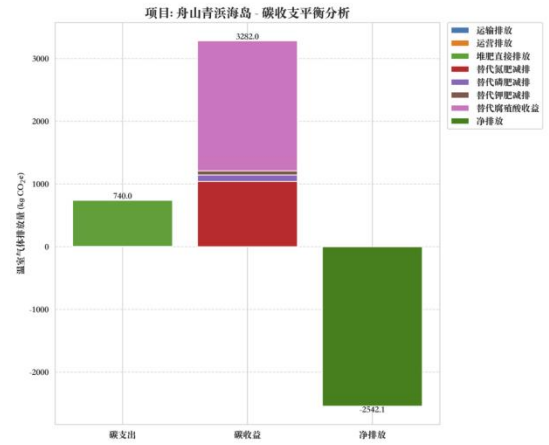
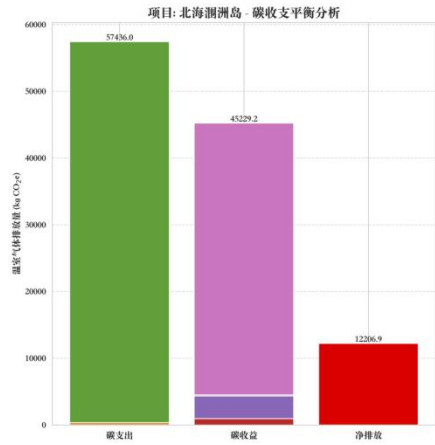


图 4-23 社区堆肥碳汇项目堆肥处理量与碳汇强度分析



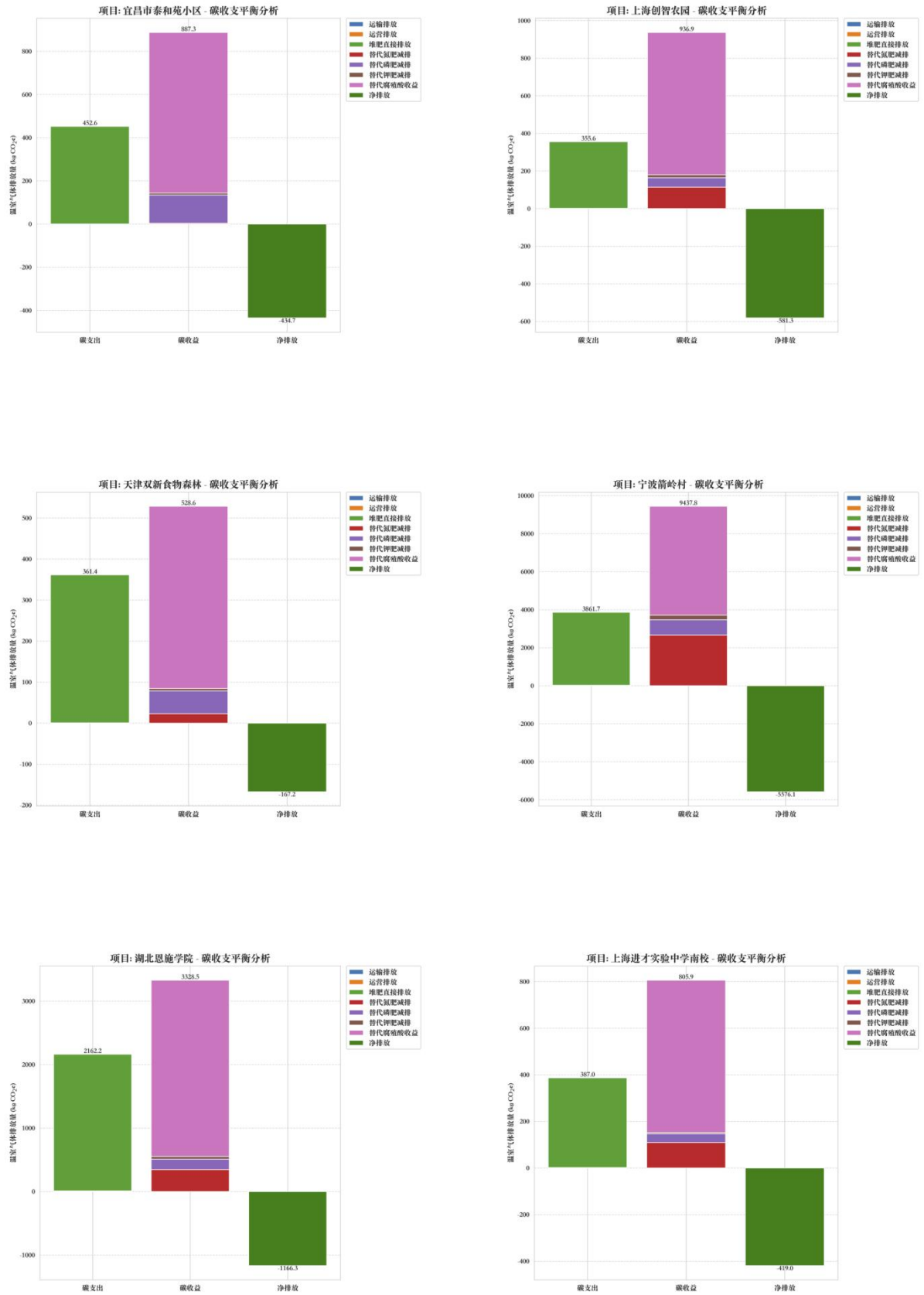


图 4-24 12 个社区堆肥项目碳收支平衡分析图

### 4.5.2.净气候效益核算

传统垃圾处理（尤其是填埋）是温室气体重要排放源；相较之下，社区堆肥多数情况下具有减碳能力。依据第二章与 4.2 节所述系评估方法与计算模型，本节对社区堆肥场景与传统处理的基线场景进行对比核算。通过评估社区堆肥相比本地主流垃圾处理技术获得净气候效益（Net Climate Benefit, NCB）。

通过与填埋、焚烧和厌氧消化三种典型基线情景的对比（如图 4-25），揭示出社区堆肥的气候贡献具有高度的情景依赖性。对比发现社区堆肥最大的价值在于作为填埋处理的替代方案，能够实现显著的温室气体减排。

- 对比填埋情景，社区堆肥具有显著优势。所有类型的社区堆肥均可以通过就地堆肥处理有机废弃物，实现较大的气候效益。其中，北海涠洲岛和北京江山赋社区两个项目，以较大规模的堆肥处理量，效益尤为突出。
- 对比焚烧情景，大部分项目显示为正效益，但其数值远低于替代填埋的效益。
- 对比厌氧发酵情景，其数值基本都在零值附近徘徊，甚至多个项目呈现为负值。从单纯的温室气体核算角度来看，社区堆肥并不比集中式的厌氧发酵技术更具气候优势。厌氧消化本身也是一种资源化利用技术，可以捕获甲烷并进行能源化利用，而堆肥未考虑对于这类气体的回收利用，因此在过程中碳排放相对核算值较高。

因此，在评估一个社区堆肥项目的气候贡献时，必须明确其所替代的本地主流垃圾处理方式，在确保垃圾分类实施效果的条件下运往对应终端处理设施。一个地区原有的垃圾处理方式（基线情景）越是高碳、低效（例如海岛地区的长距离运输），引入社区堆肥所能带来的气候效益就可能越大。

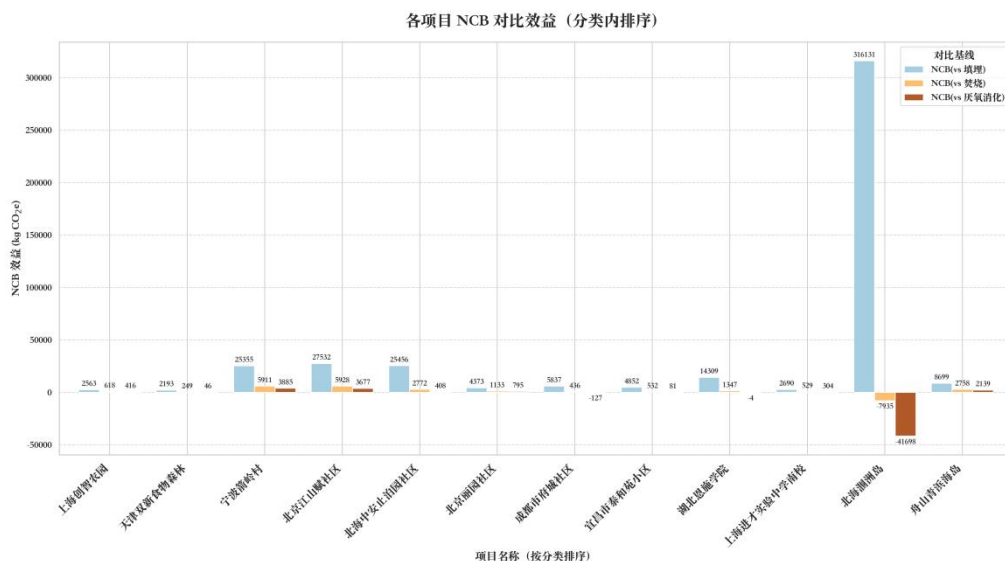


图 4-25 社区堆肥各项目 NCB 对比效益图



### 4.5.3.关键参数的敏感性分析

鉴于部分参数（如化肥替代排放因子、运输能耗、堆肥排放因子）存在较大不确定性，本章开展敏感性分析识别影响净气候效益（NCB）的关键变量。本节开展单因素敏感性分析，选取了包括堆肥产率、替代化肥类型、排放因子、运输能耗在内的多个关键参数，分析当它们在基准值上下独立波动 20%时，对 NCB 计算结果产生的综合影响。分析结果以龙卷风图（TornadoPlot）形式呈现。

敏感性分析的结果揭示了模型对不同参数变化的响应程度，主要发现：该敏感性分析，以江山赋社区为例，结果如图 4-26。该龙卷风图展示了当各输入参数在基准值上下波动 20%时，对 NCB（基准值为 183.36 kgCO<sub>2</sub>e/t）的综合影响。

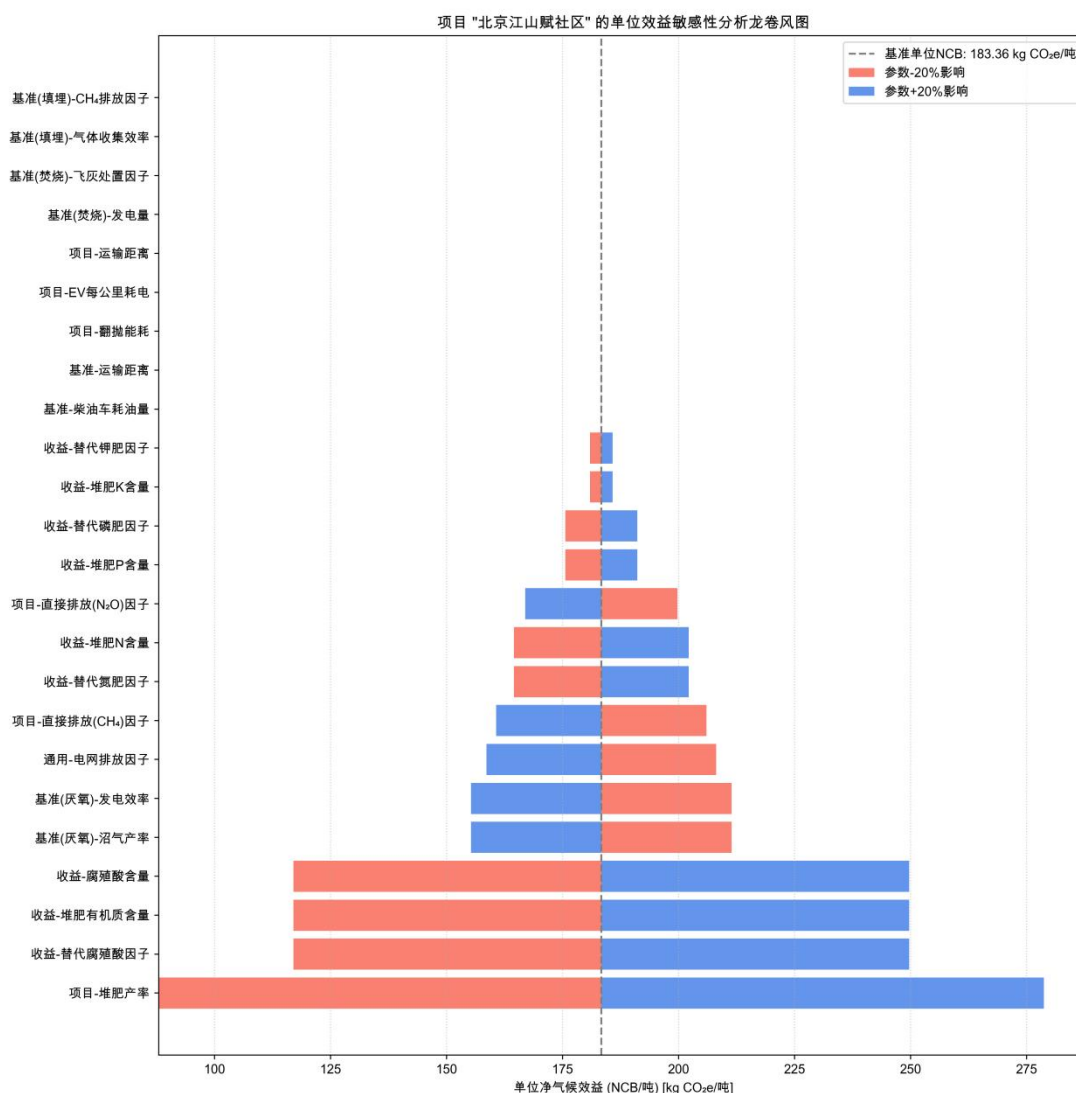


图 4-26 敏感性分析图

分析结果清晰地表明，项目的净气候效益对产出端的参数最为敏感。“项目—堆肥产率”是单一最敏感的变量，其 20%的波动可导致 NCB 结果在约 115 至

280kgCO<sub>2</sub>e/t 之间变化，凸显了物质转化效率的核心地位。其次，与堆肥产物替代效益相关的参数，即“收益—替代化肥碳酸氢铵因子”和“收益—堆肥有机质含量”，也显示出极高的敏感性。

与产品应用阶段的巨大影响相比，项目自身运营过程中的排放参数（如直接 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放因子）的敏感性相对较低。这表明，对于一个管理良好的社区堆肥项目，其主要气候贡献来源于资源回收和对高碳产品的替代。

社区堆肥的运输距离、车辆类型、能源消耗等参数位于敏感性排序的末端，其±20%的变动对总体 NCB 结果影响可忽略不计，这与本研究的生命周期清单分析结果相一致。

本次敏感性分析确认了本模型结果的热点所在，并为项目的优化管理提供了明确的方向。分析结论强调，提升社区堆肥项目的气候效益，战略重心应从单纯关注处理过程的排放控制，转向一个更全面的、以最大化资源回收效率和产品环境价值为核心的管理框架。具体而言，优化堆肥工艺以提高产率、保障并认证产品质量（如有机质含量、养分含量）以确保其能有效替代化肥和腐殖酸，是提升项目环境绩效、降低结果不确定性的最关键路径。

## 4.6. 结论

基于 LCA 结合 IPCC 温室气体清单方法，本章节的核心发现是：社区堆肥不仅是一种有效的废弃物资源化手段，更是一项具备显著气候效益的本地化解决方案。社区堆肥的气候效益主要来源于资源回收后的产品价值实现（替代化肥与土壤固碳）。敏感性分析证明，“产出多少高质量的堆肥产物”对最终的气候效益影响最大。

研究结论为社区堆肥的优化管理提供了明确的战略方向：重心应从单纯关注处理过程的排放控制，转向一个更全面的、以最大化资源回收效率和产品环境价值为核心的管理框架。

其核心结论可归纳为以下三点：

**（1）社区堆肥具备显著的净气候效益（NCB），其减排潜力巨大。**

与传统的废弃物处理模式（如填埋、焚烧）相比，社区堆肥在气候变化方面表现出明显的正向效益。这一效益的核心来源是避免了废弃物在传统处理途径中产生的大量温室气体排放。

**（2）社区堆肥气候效益由前端减排和后端增汇共同构成，实现全周期价值。**

前端减排即通过社区堆肥有效避免了厨余垃圾在传统处理方式收集运输、处理端产生的温室气体。鉴于  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  的全球增温潜能值分别是  $\text{CO}_2$  的 27.2 倍和 273 倍，这种前端的源头减排是其最直接、最核心的气候贡献。

更重要的，是在后端通过产物应用创造了巨大的碳收益。研究的清单分析与敏感性分析共同指向一个关键结论：社区堆肥的绝大部分气候贡献来源于堆肥产物替代及提升土壤有机碳库（固碳），而社区堆肥过程由于人力为主的堆肥方式，各环节的碳支出占比相对较小。其中，化肥替代中氮肥替代贡献最大。

**（3）堆肥过程自身的温室气体排放是可控的，管理水平是决定其气候效益最大化的关键。**

管理不当的堆肥过程本身也可能成为  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  的排放源，这些排放与堆体内部是否出现厌氧状况直接相关。实践中，温度合适、无异味、无蝇虫、无渗滤液是堆体维持良好好氧状态的黄金指标。因此，规范化管理不仅能解决社区堆肥的环境接纳度问题，更是实现其气候效益最大化的核心保障。

综上所述，本章为社区堆肥的气候效益提供了强有力的量化证据，并系统揭示了其效益来源与关键影响因素。研究结论不仅证实了社区堆肥作为城市有机废弃物管理可持续方案的巨大潜力，更强调了从“全周期碳价值”视角出发，通过科学化、精细化的过程管理，降低堆肥过程碳排放，提高堆肥产物价值，从而可以进一步实现社区堆肥气候贡献潜力，同步能够显著提升社区对气候变化的适应力与韧性（具体见图 4-27）。

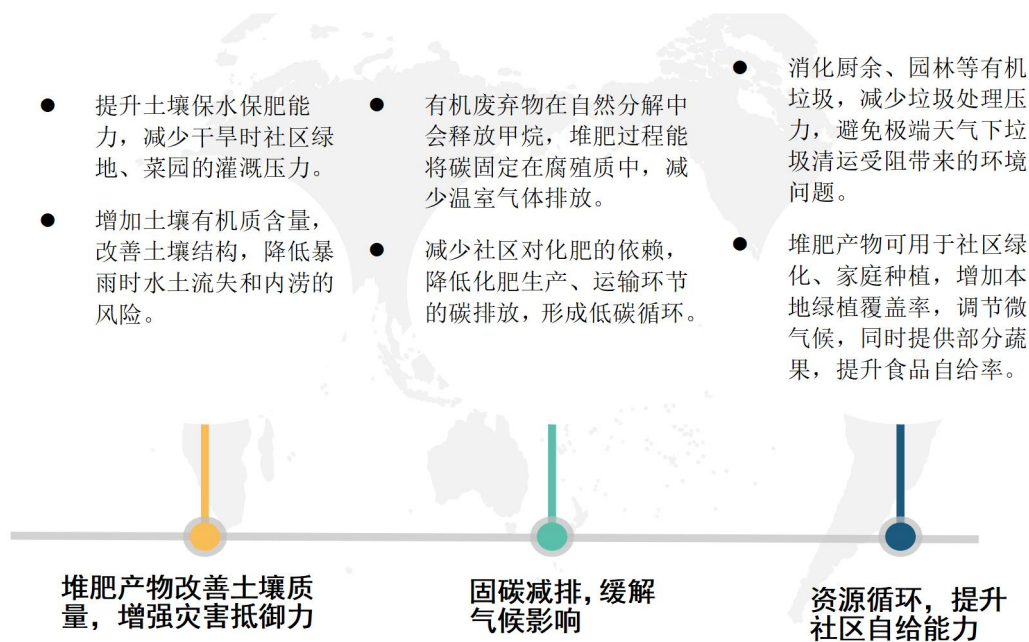


图 4-27 社区堆肥三方面提升社区对气候变化的适应力与韧性



# 5

## 社区堆肥经济效益评估

### 章节看点

- 社区堆肥是一种经济可行、长期受益的社区废弃物管理创新模式。
- 社区堆肥投资回报周期一般在 2-5 年。
- 降低初期硬件投入，降低人工成本和辅料成本是降低社区堆肥成本的有效方法。



# 前言

经济效益分析是通过核算社区堆肥项目的全部成本和效益来评估项目经济价值的一种方法。

本章节从全生命周期视角切入对社区堆肥的经济效益进行评估和分析，社区堆肥成本主要由启动成本、运营成本和潜在成本组成；收益主要由堆肥产物的直接销售收入和由于开展社区堆肥减少的其他运营管理费用。此外，本章根据分析结论对社区堆肥如何优化成本结构和经济可持续提出建议。

## 章节目录

### 1.成本分析

### 2.经济收益

### 3.社区堆肥经济效益核算

### 4.结论与效益优化建议



## 5.1. 成本分析

从全生命周期视角切入，社区堆肥的成本核算需覆盖从项目启动到长期运营的全流程，通常由启动成本、运营成本和潜在成本（如有）组成，具体分类见表 5.1。

表 5.1 社区堆肥成本组成

| 启动成本     |   |
|----------|---|
| 场地建设     | 场地改造包括硬化、防雨、废水等基础建设费用。  |
| 设施设备     | 堆肥设施的费用差距较大。采购较昂贵，自制较便宜；推荐利用金属网、防腐木或其他建筑废弃材料自制，处理量大时可使用砖砌或水泥建设。<br>其他设备包括粉碎机、筛分机、运输车、电子秤等固定资产，各社区需根据需求采购。 |
| 堆肥工具     | 堆肥工具包括防雨布、温度计、手套、铁锹、分拣夹等材料工具，鼓励和环卫保洁、园林绿化工作共用材料。  |
| 运营成本     |   |
| 原料       | 原料费用一般包括调节物质和菌剂，如果无需外购，这部分费用可以忽略。   |
| 人工       | 人工成本按照每人每天工作时长、小时工资来核算，根据各地工资水平评估。社区堆肥全部由志愿者参与可以忽略本部分费用。  |
| 维护保养     | 场地、设施、工具老化产生的维修保养费用。  |
| 资源能耗     | 用电量、用水量和垃圾运输可能产生的油费（电费）。  |
| 潜在成本（如有） |   |
| 包装       | 堆肥产物如果进行包装，可能会产生对应的包装设计和材料费用  |
| 宣传       | 社区堆肥宣传所需要的宣传物料、材料、人工等支出   |
| 突发应急     | 居民投诉补偿费用、自然灾害   |
| 潜在损失     | 导致社区公共空间可能丧失的车位费、活动场地租赁费等   |

### 5.1.1. 启动成本

社区堆肥启动成本又叫初期建设成本。规模和操作管理模式将直接影响启动成本。通常可按 5 年折旧（堆肥设施平均使用寿命）， $\text{年均折旧成本} = \text{一次性投入总额} \div \text{折旧年限}$ 。本报告以一个日处理 100kg 厨余垃圾的社区堆肥点为例进行探讨，具体内容见表 5.2。

表 5.2 社区堆肥启动成本（日处理 100kg 厨余垃圾规模）

| 类别   | 具体项目   | 总投入<br>万元 | 备注  |
|------|--|-----------|---|
| 场地改造 | 硬化地面（防渗漏）<br>搭建防雨棚<br>划分功能区（收集/堆肥/成品区）<br>土地租赁、场地平整、水电接入、<br>围栏安装等 | 1.5~2.5   | 需 20-30 m <sup>2</sup> （含操作空间），若利用社区闲置空地（已硬化或已有防雨设施），可节省 50% 以上成本 |
| 设施设备 | 堆肥设施（如密闭堆肥箱）<br>其他设备（粉碎机、电子秤、筛分机、运输车等）                             | 3~5       | 100kg/日规模需 8—10 个 1 立方米的堆肥设施（含腐熟），若腐熟有单独空间，可节省 30% 堆肥设施所需堆肥设施费用   |
| 配套工具 | 堆肥工具（翻堆神器、温度计、铁锹、分拣夹、防雨布等）<br>防护用品（手套、口罩、防护服）<br>消防/清洁工具（灭火器、高压水枪） | 0.5~1     | 工具应按 3—5 人团队配置，每年补充 2 次   |
| 合计   | -  | 5~8.5     | 固定资产年均折旧成本：0.9 万元~1.5 万元（按 5 年折旧）                                 |

图 5-1 社区堆肥配套设施及工具



### 1.4.1.运营成本

运营成本为社区堆肥项目运营阶段的持续性投入成本，与堆肥规模、操作管理模式直接相关，核心成本集中在人工、原料、材料、资源能耗四大类，以日处理 100kg 厨余垃圾的社区堆肥为例，年运营成本具体核算见表 5.3。

表 5.3 社区堆肥运营成本（日处理 100kg 厨余垃圾规模）

| 成本类别   | 具体项目   | 单位成本   | 年成本/万元  | 备注  |
|--------|--|--|---------|---|
| 人工成本   | 日常运营（分类督导、堆肥物料添加、翻堆、场地清洁）                      | 兼职人员：不超过 100 元/天（一般不超过 4 小时）<br>专业督导：1000~3000 元/月 | 2.5~4.5 | 主流模式至少 1 名专职操作管理员，志愿者无薪酬，可降低 60%人工成本                                  |
| 原料成本   | 碳源辅料（如本社区不足，需外部购买或协调）<br>菌剂（如需购买）              | 锯末：200-300 元/吨<br>菌剂（菌液或菌粉）：50-80 元/吨              | 0.3~0.5 | 厨余垃圾：辅料=5:1（重量比），100kg/日厨余至少需 20kg/日辅料；若使用社区绿化废弃物（修剪枝粉碎、落叶），辅料成本可降为 0 |
| 材料成本   | 耗材补充（堆肥工具、防护用品等）                               | 耗材：200~300 元/月                                     | 0.2~0.5 | 建议一年至少补充 2 次  |
| 资源能耗成本 | 设备用电（粉碎机、照明等）<br>水费（工具、场地清洁）<br>运输能耗（运输车充电/加油） | 电费：0.5~0.8 元/kWh<br>水费：3~5 元/吨                     | 0.1~0.3 | 若采用落叶作为调节物质，无需破碎，电耗费可省略，小型破碎设备日均耗电 5~10kWh（无破碎机可忽略）                   |
| 合计     | -  | -  | 3.1~5.8 | 人工成本是核心支出，占总成本的 70%~80%，运营成本可通过“志愿者参与+本地辅料”大幅压缩                       |

### 5.1.2.潜在成本

社区堆肥的潜在成本不是社区堆肥的必需支出，是指根据社区堆肥的发展额外新增的支出，如包装费、宣传费、突发应急费用和潜在损失等。

包装费用主要指社区堆肥产物如需赠送或销售的包装费用，如堆肥产物直接在社区内部循环使用，则可省略掉这部分费用。

宣传成本弹性较大，具体金额随宣传规模、物料选择和活动形式灵活调整，每年的宣传费用一般不超过 5000 元；成本中占比最高的是物料制作成本（约 50%~70%，包括定制海报、手册与小礼品等），其次是活动组织成本（约 20%~40%，包括社区宣讲、实操教学所需的材料费）。

社区堆肥场所往往在小区内部，其场地原来可能具有其他多功能价值，若该场地原为停车场，其潜在隐性成本就是损失的停车费收入及为居民提供的便利性。所以在项目规划初期，应优先考虑社区边角、绿地附属等价值较低的空闲地块用于堆肥，从而最小化成本；同时探索“堆肥+”模式，例如将堆肥点设计为社区花园的一部分，使其兼具教育、休闲功能，从而提升其综合效益，对冲其隐性成本。

社区堆肥另一种隐性成本是因项目在运营过程中管理或技术操作不当，引发负面事件后，为进行补救、处理和消除影响所可能产生的所有费用。如堆肥过程管理不当导致异味、蝇虫产生，影响周围居民生活环境，进而引起居民投诉，从中会产生居民关系补偿费和应急处理费（如紧急购买木屑等干料改造堆体，减少异味、蝇虫的产生）。如果堆肥开展能够遵循管理规范，如提前进行操作管理培训、干湿配比合适等，这笔费用完全可以省略。

## 5.2. 经济收益

社区堆肥的效益需突破单一经济收益，整合**直接经济收益**（如堆肥产物销售）和**间接经济收益**（如减少垃圾处理费、堆肥产物自用替代化肥的成本），避免低估综合价值。

### 5.2.1.直接经济收益

当社区堆肥规模较大，堆肥产物自用有剩余后，可以考虑外部销售，销售时，可按营养改良土的售价，一般 200~600 元/吨（根据第三章堆肥产物养分价值核算）。但目前社区堆肥产物销售较少，往往通过其养分价值转换成等价值的商品有机肥核算其间接经济收益。



### 5.2.2.间接经济收益

间接收益为社区堆肥减少其他支出带来的隐性收益，通常与传统垃圾处理方式的成本或节省有机肥采购对比得出，是社区堆肥经济效益核算的核心效益点。社区堆肥能够帮助降本增效，减少公共支出与居民负担，多数社区堆肥的间接收益高于直接收益。间接收益高低很大程度取决于产量，若完全自用，收益以成本节约形式体现，无现金流入。

**降低市政垃圾处理成本：**社区堆肥减少了厨余垃圾、园林绿化废弃物和秸秆等废弃物的外运量与处理量，间接降低了政府在垃圾运输（如柴油消耗、车辆运维）、末端处理（如焚烧厂/填埋场运营、渗滤液处理）上的公共支出。

**堆肥产物的自用节约与养分价值，为社区与居民节约资源成本：**社区无需购买商业有机肥改良绿化带土壤，居民也无需自费购买花肥，尤其对有园艺需求的居民，堆肥产物可完全替代低价化学肥料，每年为每户居民节省花肥支出 50~100 元（市面上普遍售价为 1 元 1 斤）；部分社区还可将多余堆肥产物以公益售卖形式用于社区公共设施维护（如购置分类垃圾桶），形成“垃圾资源化—反哺社区建设”的经济循环。按 100kg/日厨余垃圾规模计算，堆肥产物产量约 40~60kg/日（腐熟后含水率降低，产量为厨余垃圾的 30%~40%），年均产量约 10.9~14.6 吨。

以长沙金色比华利小区为例，小区开展堆肥的主要目标为改良社区内板结、难以生长植物的土壤。小区内修建 12 个砖砌堆肥池，通过厨余垃圾+园林绿化堆肥，堆肥产物全部自用，每年减少绿化外运 15 车（每车 450 元，共计 6750 元），化肥减少使用 2/3（4000 元左右），共计节约 10750 元/年，此处还不包括节省补种的费用。



图 5-2 长沙金色比华利小区堆肥主要原料之一：园林绿化废弃物

表 5.4 社区堆肥常见间接收益来源



| 收益类别     | 具体方式  | 单位收益   |
|----------|---|--|
| 减少垃圾清运费  | 社区堆肥分流的厨余垃圾，无需纳入市政垃圾清运，节约“清运+处置”费用，节省园林绿化外运处置费用                                 | 市政垃圾处理费：260~450 元/吨（含清运+填埋/焚烧）<br>物业承担的园林绿化修剪物外运处置费（运输+处置）：300~1000 元/车不等，根据车辆大小 |
| 堆肥产物自用节约 | 社区绿化施肥（替代商品有机肥/化肥）<br>居民家庭园艺（免费发放给参与居民）<br>堆肥产物有机质含量高，大于 50%<br>氮磷钾总养分含量一般小于 4% | 商品有机肥：400~1200 元/吨<br>商品化肥：700~2000 元/吨<br>参考社区堆肥养分价值及收集到的价格案例，堆肥产物：200~600 元/吨  |
| 减少绿化养护费  | 堆肥产物自用替代商品有机肥/化肥，同时改善土壤质量，减少灌溉/病虫害防治成本  | 绿化养护费节约 10%~20%  |

## 5.3. 社区堆肥经济效益核算

通过“总成本—总效益”对比，结合“投资回收期”（一次性投入÷年均净收益）指标，可清晰判断社区堆肥的经济可行性，并与传统厨余垃圾处理方式（完全依赖市政清运-填埋/焚烧）形成对比。社区堆肥的年均净收益计算相关公式如下：

- **年均总成本：** 一次性折旧成本+年度运营成本；
- **年均总效益：** 直接经济收益+间接经济收益；
- **年均净收益：** 总效益—总成本。
- **投资回收期：** 一次性投入/年均净收益

实际上，社区厨余垃圾和园林绿化废弃物等纳入市政清运的传统处理模式仅关注垃圾处置，需持续支付清运与养护成本，其成本—效益特征为：只有成本，无收益。而社区堆肥通过资源循环实现成本节约+收益创造，在优化运营模式（志愿者参与+本地辅料）下，一般 2~3 年可收回初期投入，长期经济价值显著高于传统方式。

一般来说，社区堆肥的经济可行性与规模正相关（规模越大，单位成本越低，收益越高），小型社区（日处理<50kg）需通过成本控制实现平衡，具体差异见表 5.5。

表 5.5 不同规模社区堆肥经济效益对比

| 日处理量     | 年均净收益                | 投资回收期 | 核心建议                                |
|----------|----------------------|-------|-------------------------------------|
| 10~50kg  | -0.3 万~0.5 万元（微亏或持平） | 5~8 年 | 采用“简易堆肥箱+全志愿者运营”，辅料完全使用社区绿化废弃物降低成本。 |
| 50~200kg | 0.8 万~2 万元（盈利）       | 3~5 年 | 配置翻堆神器提升效率，堆肥产物可部分对外销售，平衡成本与收益。     |
| ≥200kg   | 2.5 万~4 万元（高盈利）      | 2~3 年 | 可与周边社区/农场合作，形成“收集—处理—销售”产业链，扩大收益规模。 |

## 5.4. 结论与效益优化建议

从经济效益分析来看，社区堆肥是一种经济可行、长期受益的社区废弃物管理创新模式。相比传统处理方式的持续花钱，社区堆肥通过资源循环实现“省钱+赚钱”，是“无废社区”建设中兼具环保价值与经济可持续性的优选路径。

- **短期（1~3 年）：**通过减少垃圾清运费+申请项目或补贴，实现成本与收益基本持平，避免额外经济负担；
- **中期（3~5 年）：**收回初期投入，进入盈利阶段，同时通过堆肥产物自用降低绿化养护费用，形成良性循环；
- **长期（5 年以上）：**设备折旧完成，运营成本大幅降低，收益渠道多元化（自用+补贴+销售），成为社区低成本、高价值的基础设施，同时带来显著的社会与环境效益。

社区堆肥的经济痛点集中在“初期投入高、人工成本占比大、收益渠道单一”，可通过以下策略针对性优化，降低成本，提升净收益。

### 5.4.1. 降低成本

- **压缩初期投入：**优先利用社区闲置场地（如废弃车库、边角绿地），避免场地改造费用；采用低成本堆肥设施（如自制木质堆肥箱，成本降低 50%）替代外部采购专业设备，降低初期投入成本。
- **控制运营成本：**建立志愿者积分制度（如参与堆肥可兑换堆肥改良土、社区服务时长），减少专职人员数量；辅料优先回收社区绿化废弃物（修剪枝粉碎、落叶），实现辅料成本零支出。

### 5.4.2.提升收益

- **优化直接收益：**提高堆肥产物养分含量，扩大改良土/化肥替代量，并通过社区公众号、周边花店/农场宣传销售；开展堆肥体验活动，收取少量活动费（20~30 元/人），补充收益。
- **挖掘间接收益：**与市政部门协商，将社区堆肥分流的垃圾量纳入垃圾分类考核奖励，争取额外奖励资金，或推动当地政府进一步支持堆肥，根据实际处理的垃圾量，减少社区的垃圾处理费用，或直接把垃圾处理费支付给社区。如有条件或允许农业种植，可利用堆肥改善后的土壤开展“社区菜园”项目，收获蔬菜免费发放或低价售卖，增加收益来源。
- **社会收益转化：**将社区堆肥打造为环保示范项目，吸引企业赞助（如环保企业赞助设备、宣传物料），减少自身投入；与学校合作开展校外实践基地，收取少量活动费。

### 5.4.3.长期可持续

- **居民参与激励：**通过垃圾分类积分兑换有机肥、堆肥成果展示会提升居民参与度，增加厨余垃圾收集量（提升堆肥产量），同时减少督导成本（居民自主分类准确率提升）。
- **区域协同合作：**多个小型社区联合建立堆肥共享站点，分摊设备采购与运营成本（如 3 个小型社区联合，破碎机、辅料可协调共用，初期投入可降低至 2 万~3 万元/个），同时扩大堆肥产量，拓展销售渠道，提升堆肥产物养分含量。

# 6

## 社区堆肥社会效益评估

### 章节看点

- 社区堆肥作为垃圾资源化利用与社区治理创新的重要实践，在推动“垃圾围城”破解与可持续发展理念传播、社区发展、教育、疗愈与群体融合等维度已展现出显著的社会效益，是其超越集中式处理技术路径的核心竞争力。
- 在居民-社区-社会三个维度层面，社区堆肥都能提供持久动力。



# 前言

社区堆肥作为“无废社区”建设的关键实践，其核心价值之一是通过重塑居民生活方式、优化社区关系、提升公共服务质量，产生深远的社会效益。这种效益虽难以完全用货币量化，却直接关联居民幸福感、社区凝聚力与社会可持续发展能力，是衡量社区堆肥综合价值的核心维度之一。

本章主要从助力垃圾分类、社区治理优化、环境教育普及、疗愈与群体包容、社会价值延伸五大板块，系统拆解社区堆肥的社会效益逻辑与实践价值。

## 章节目录

### 1.助力垃圾分类

### 2.社区治理优化

### 3.形成特色环境教育模式

### 4.疗愈与群体包容

### 5.社会价值延伸

### 6.结论:成效突出，差异明显，潜力巨大



## 6.1. 助力垃圾分类

社区堆肥作为垃圾分类体系的末端减量与资源化闭环环节，不仅从源头推动垃圾分类的精准化落地，更通过多元价值反哺垃圾分类工作，形成“分类—处理—循环”的良性生态，其核心影响可以归结为：从被动分到主动分，强化分类精度与参与度，实现多重共赢。

### 6.1.1. 倒逼前端分类精细化，减少混投混放

社区堆肥的处理对象聚焦于社区内产生的厨余垃圾与园林绿化废弃物、农作物秸秆（农村社区）、咖啡渣等，为确保堆肥产物质量，需尽量避免其他垃圾混入厨余垃圾，如带入过多重金属、塑料杂质，甚至可能会导致堆肥失败。因此，社区堆肥实践会倒逼堆肥管理者确保原料的纯净度，注重引导居民主动将厨余垃圾单独投放，减少垃圾分类中厨余与其他垃圾混投的问题，显著提升垃圾分类的准确率。

江山赋社区开展厨余堆肥实践也在一定程度上促进了居民垃圾分类，减少了混投混放。社区通过组织居民参与堆肥（图 6-3）、体验种植、堆肥价值宣传以及各类媒体宣传曝光，小区厨余垃圾分出量增加，从开展堆肥前的日分出量 3-5 桶（240L 桶），增加到了日分出量 9 桶。实践中，由于部分厨余垃圾用于堆肥，实际厨余垃圾分出量高于 9 桶。



图 6-1 北京江山赋社区堆肥设施与居民参与堆肥

### 6.1.2. 降低垃圾分类认知门槛，提升居民参与主动性

传统垃圾分类常因“分类标准复杂”、“居民不知为何分”导致参与度低迷，社区堆肥通过“体验活动+成果反馈”，有效提升居民环保意识，并推动环保行为从社区内向家庭内延伸。通过“分类—堆肥—利用”可视化的资源化过程让居民直观感受到垃圾分类的价值。居民投放的厨余垃圾经过 2~3 个月在地堆肥发酵，可转化为能改良自家花盆土壤施肥的“黑金土”，这种从垃圾到资源的即时反馈，比单纯的环保宣传更具说服力。“体验活动+成果享受”的方式，能促进居民垃圾分类行为从被动转向主动，居民家庭分类率大大提高，体验活动尤其能带动老人、儿童等群体的参与热情。

以北京市朝阳区常营地区首开畅心园社区为例,项目实施前,居民垃圾分类准确率仅为40%。项目实施后,社区通过开展“堆肥开放日”、“家庭堆肥培训”、“有机蔬菜种植分享”等活动,累计覆盖居民1200人次。问卷调查显示,堆肥项目实施后,居民垃圾分类准确率提升至82%,环保意识与行为形成良性互动。

无锡市吉祥国际花园是国内第一个尝试居民参与式堆肥模式的居民住宅小区,堆肥以促进居民垃圾分类,推动居民参与社区治理为主要目标。通过一年的实践,在无政策要求、无奖励措施引导的情况下,吉祥国际花园试点区域内,30%家庭实现居民家庭主动垃圾分类和厨余垃圾直接投放堆肥(图6-1)。在吉祥国际花园,带着厨余下楼堆肥成为了部分居民的饭后活动之一。居民将分类厨余拿到堆肥场地,先称重再投入堆肥箱。堆肥操作管理员或居民志愿者小朋友负责记录参与堆肥的居民户数和厨余重量。试点开展1个月后,居民直接将厨余投入堆肥箱,并将垃圾袋和杂质扔到堆肥箱一旁的垃圾桶。自2021年9月4日启动以来到2022年6月,东区674户中的211户居民参与了社区堆肥,在无垃圾分类基础、无政策强制要求的背景下,不仅实现小区垃圾分类零的突破,也验证了“楼上分类,楼下堆肥”的可行性。



图 6-2 无锡吉祥社区居民参与堆肥现场投放厨余垃圾

### 6.1.3.缓解垃圾分类末端处理压力,优化分类体系闭环

当前垃圾分类面临的核心痛点之一是末端处理能力不足:大量分类后的厨余垃圾需依赖市政大型处理设施(如厌氧发酵厂、焚烧厂),运输成本高、处理周期长,且易因中间环节混装导致前端分类成果流失。社区堆肥实现了厨余垃圾在社区内就地处理,如果全量处理,平均可减少社区生活垃圾总量的30%~40%(厨余垃圾占生活垃圾比重通常为30%~50%),直接降低了需外运至市政设施的垃圾量,缓解了垃圾分类后端的运输与处理压力,同时避免了厨余垃圾在运输过程中因腐烂产生的渗滤液、异味污染,保障了垃圾分类“前端分好、中端运好、末端用好”的全链条闭环。

## 6.2. 社区治理优化

社区堆肥并非单纯的垃圾处理行为,而是以环保实践为纽带,从参与机制、治理主体、文化共识、空间功能等多维度激活社区治理活力,成为推动社区共建共治共享的重要抓手。

### 6.2.1. 激活居民参与动力，构建“主动参与型”治理格局

社区治理常面临居民被动接受、参与意愿低的困境，而社区堆肥通过“家门口的循环实践”和“可视化的堆肥成果”，能有效打破这一僵局。一方面，堆肥产物可直接反哺居民生活（如家庭种植）与社区环境（如美化绿地），居民能直观看到自己的行动对社区的积极改变，让居民主动参与进来从“旁观者”转变为“参与者”。例如，在部分社区，居民通过参与堆肥物料添加、翻堆和出料等工作，可优先获得堆肥产物，开展这样的堆肥产物认领活动，可明显激发居民参与热情。另一方面，社区堆肥操作难度低、参与形式灵活，老人、儿童、上班族等各类群体均可参与，还能带动整个家庭直接参与堆肥或垃圾分类，形成一人参与、全家关注的联动效应。部分社区也通过组建堆肥志愿小组，让居民主动承担分类收集与堆肥管理任务，提升了居民对社区的归属感与责任感。



图 6-3 部分社区包装制作的“堆肥礼肥”



图 6-4 北海止泊园社区儿童参与堆肥（左）、北京皇城根遗址公园居民参与堆肥（右）

### 6.2.2. 社区治理从单向管理到多元共治

社区堆肥能吸引各类人群参与，从而推动治理主体多元化、互动化、融合化，助力基层治理由“单向管理”到“多元共治”转型，激活社区内生动力和行动力。

社区堆肥能够打破“社区居委会/物业主导，居民被动参与”的单向治理模式，在堆肥过程中，能够构建起居民、社区居委会、物业、环保组织等多方协同的多元治理模式。



- 以社区社会组织或志愿队伍为核心实施主体的社区堆肥项目。居民自主协商制定堆肥管理方案（如垃圾投放时间、堆肥操作管理流程），在解决场地、垃圾收集、堆肥产物使用与分配等问题中，逐步提升沟通协商、矛盾调解能力，自治意识与能力得到不断增强。
- 以社区居委会作为核心实施主体的社区堆肥项目。社区居委会作为堆肥发起方主要发挥协调、服务功能，从“管理者”转变为“服务者”。社区居委会通常负责堆肥场地协调、资源协调、沟通平台搭建，引导居民自主管理堆肥，引导物业参与堆肥，提供原料，这样既减轻了基层治理压力，又培养了居民的责任意识。
- 以物业作为核心实施主体的社区堆肥项目。物业通常会从解决园林绿化废弃物处理的角度启动堆肥。物业主导的堆肥，还会侧重解决小区里的土壤板结问题，将堆肥产物用于土壤改良，美化小区环境的同时提升物业在业主心中的形象。
- 由多元主体协调推进的社区堆肥项目。一些社区引入环保组织或高校志愿者提供技术支持，同时争取企业赞助或经费支持，形成“居民自治+专业指导”的复合治理模式，以此进一步提升社区处理公共事务的能力。

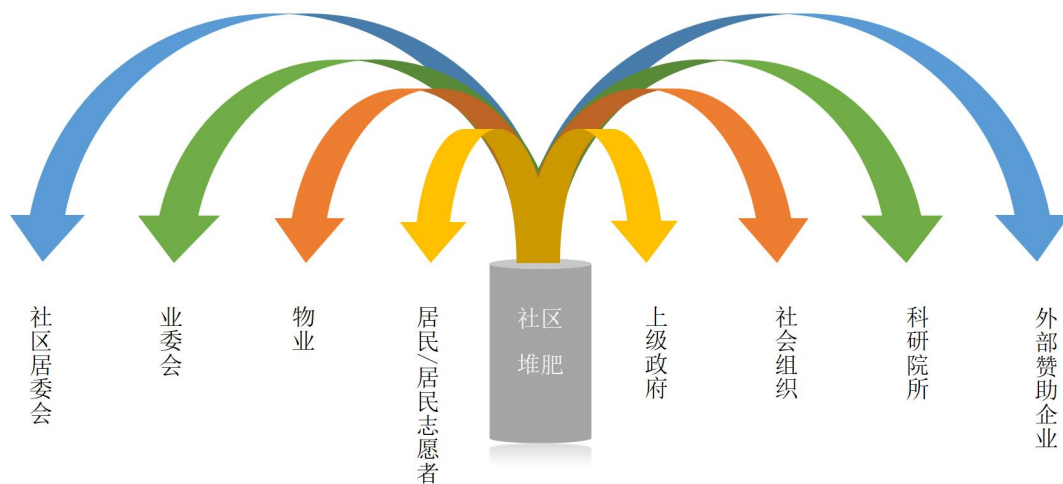


图 6-5 城市居民小区开展堆肥可能涉及的相关方

通过社区废弃物管理这一高频民生需求，构建起“居民—物业—社区组织—政府”协同参与的多元共治体系，显著提升社区治理效率与居民认同感。这种联动能降低社区的技术与资金压力，同时丰富治理资源，实现优势互补。

例如，北京市朝阳区常营地区首开畅心园社区由朝阳区玉华残障人士康养服务中心（提供专业助残服务）、通州区众心联社会工作事务所（负责活动策划）、社区精神文明实践站

（搭建落地平台）三方联合发起。三方各司其职、协同联动，为社区助残服务及相关活动的有序开展筑牢了组织基础。

广西北海市止泊园社区通过“五社联动”（社区、社会组织、社工、志愿者、居民）机制，累计带动 5000 人次参与堆肥相关活动，涵盖垃圾收集、堆肥操作、成果分享等全流程，治理效率较传统“居委会单一主导”模式提升。

江山赋社区堆肥的协作机制主要为社区书记总体统筹下的分工协作。社区书记进行统筹，2 名固定居民志愿者组成堆肥小队作为专门的堆肥操作管理员，小区绿化工人定期准备和提供调节物，社区厨余堆肥平台项目组提供技术支持。这一高效协同的运作体系不仅实现了厨余垃圾资源化利用与显著的低碳环保成效，更助力社区斩获北京市垃圾分类示范社区等多项荣誉，成为基层社区生态治理与志愿服务融合发展的标杆范本。

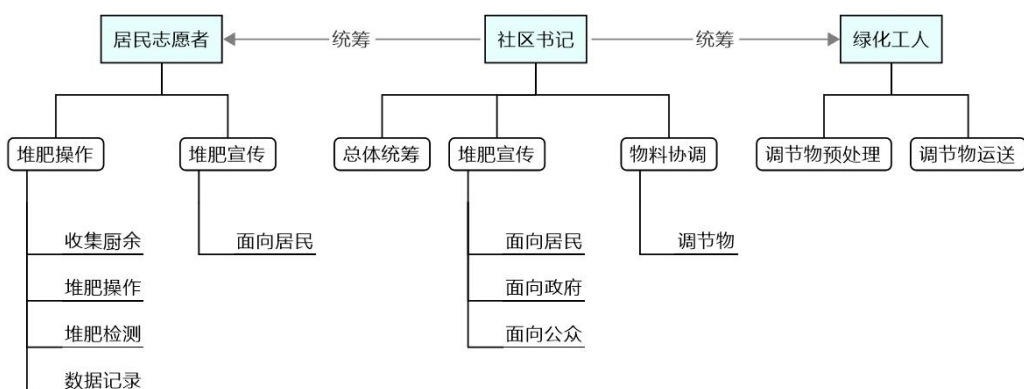


图 6-6 江山赋社区堆肥团队主要分工图

### 6.2.3.凝聚社区文化共识，营造生态友好型社区氛围

社区堆肥以环保、循环、共享为核心价值，在实践过程中逐步成为社区文化的粘合剂，有助于提升居民生态文明素养和可持续发展观。

常见的社区矛盾中，垃圾异味、清运扰民是常见邻里矛盾点，社区堆肥则能通过“本地化处理+居民参与”，从源头化解这类矛盾。一方面，与堆肥相关的科普活动和主题活动，能让环保理念深入居民日常生活，尤其通过亲子堆肥、社区花园共建等实践，让儿童从小接触环保活动，树立垃圾资源化意识。另一方面，居民在共同参与堆肥、分享堆肥成果的过程中，可增进邻里互动，形成紧密、和谐的邻里关系。例如，居民会交流堆肥技巧、分享堆肥种植的蔬菜花卉，甚至形成堆肥互助小组，这些居民间的互动，既解决了厨余垃圾问题，又让社区充满人情味，打破了现代社区邻里陌生化的壁垒，营造了互助、共享、绿色、温馨的社区氛围。这种以环保为核心的文化共识，不仅提升了社区的凝聚力，也为社区治理提供了坚实的文化基础，减少了其他公共事务处理中的阻力。





图 6-7 无锡吉祥花园社区堆肥推广宣传活动

#### 6.2.4.优化社区空间功能，提升精细化社区治理水平

社区堆肥，可推动社区空间从单一居住功能向复合功能升级，可促进社区治理向精细化方向发展。

一方面，堆肥场地的选址与建设常利用社区闲置角落或活化废弃绿地，可将闲置空间转化为环保实践空间。在有些社区，堆肥场地被打造成社区生态角，配套种植花卉、蔬菜，既美化了社区环境，又为居民提供了休闲、互动的公共空间，提升了社区空间的利用效率与居民的生活幸福感。另一方面，堆肥场地的运行和维护，有利于社区在垃圾管理和环境维护方面更加精细化。为保障堆肥项目有序推进，社区需完善配套管理措施，如设置分类垃圾桶、建立堆肥场地卫生管理制度、制定异味防控方案等，这些措施不仅优化了堆肥项目的运行，也推动社区在垃圾管理、环境维护等方面的治理更加精细化。

例如，在有些社区，为减少堆肥异味影响，制定有定期翻堆、湿度控制操作规范，并设立居民反馈渠道，及时解决居民诉求，制度化、标准化管理和投诉反馈机制的建立，提升了社区治理的精细化水平与居民的满意度。优秀的社区堆肥项目常会成为区域级环境教育示范基地，接待其他社区、学校、企业的参观学习，将教育经验向外传导，既能提高社区居民的荣誉感，还可促进社区综合治理和管理水平进一步提高。

武汉中医小区在开展堆肥活动的同时，对社区内原有的杂物堆放棚进行升级改造，将其打造成整洁规范的堆肥专属场地，并配套设置了垃圾分类及社区堆肥主题科普宣传板。不仅实现了厨余垃圾的资源化利用，还改善了社区卫生环境，有效提升了居民的环保意识与素养。



图 6-8 武汉中医小区堆肥前后场地对比

青岛顺德居小区同时落地城阳社区厨余堆肥培训推广中心和社区厨余堆肥平台北方区域推广中心，汇集科普教育、培训、实操、示范推广等多种功能。



图 6-9 青岛顺德居小区北方社区堆肥推广中心（含堆肥操作场地、种植区、培训教室）

### 6.3. 形成特色环境教育模式

社区堆肥作为“理论+实践+生活”三维融合的教育载体，打破了传统教育的空间与形式边界，将环保、科学、劳动、社会等多领域知识转化为可感知、可参与的实践活动，其教育价值不仅体现在知识传递层面，更在于能力培养与价值观塑造，且能与各学段教育、社区教育、家庭教育深度结合，形成从“知识传递”到“实践内化”的特色环境教育模式。

#### 6.3.1. 从知识到素养的全面赋能

社区堆肥将“可持续发展”从抽象理念转化为日常实践，让垃圾减量、资源循环不再是口号，帮助构建知行合一的环保价值观。参与者通过亲手将又臭又脏的有机废弃物转化为“黑金土”，能深刻理解“垃圾是放错地方的资源”。这种“实践—反馈—认同”的过程，能让环保意识内化为行为习惯，尤其对青少年而言，早期参与堆肥实践可塑造“尊重自然、循环利用”的可持续发展价值观，成为未来环保行动的种子力量。另外，社区堆肥还能和自然科学、劳动教育、美育等结合，社区堆肥以可触摸、可参与、可感知的实践特性，成为环保教育的优质载体，尤



其在学校场景中，通过“课程嵌合+实践赋能”，实现环保理念从“认知”到“行动”的转化。

社区堆肥的核心教育价值，在于让公众从“环境问题的旁观者”转变为“环境解决方案的参与者”，培养其环境责任意识。

### （1）自然科学教育：打通“微观原理”与“宏观实践”的认知链路

社区堆肥是天然的户外科学实验室，能让抽象的科学知识变得具象可感。

在生物学维度，居民（尤其是青少年）可通过观察堆肥中微生物的活动（如温度变化反映微生物分解强度和发酵进程），直观理解“物质循环”、“生态系统分解者功能”等核心概念，通过对比不同原料（如厨余、园林绿化废弃物、落叶、秸秆等）的堆肥效率，探究碳氮比对微生物活性的影响。在化学维度，堆肥过程中的 pH 值变化、有机质分解产生的养分（如氮、磷、钾释放），可帮助理解有机物降解反应、酸碱平衡等原理，还能通过检测堆肥产物的养分，建立“化学元素与植物生长”的关联认知。这种“从观察到探究、从原理到应用”的过程，远比课堂讲授更易激发科学兴趣，培养实证精神与科学探究能力。

如上海浦东新区进才实验中学南校在校园内搭建堆肥种植角，将堆肥知识纳入“科学课+综合实践课”，覆盖全校 700 余名师生。学生以小组为单位，开展“不同辅料对堆肥效率的影响”、“堆肥产物对植物生长的作用”等探究性实验，累计形成 30 份研究报告，其中 2 个项目获市级低碳环保奖项。



图 6-10 溧阳市杨庄小学堆肥（左）、宁波鄞州第二实验中学堆肥（右）

### （2）劳动与生活教育：培养动手能力与责任意识

在现代社会“劳动教育弱化”的背景下，社区堆肥为劳动教育提供了真实场景。

从厨余垃圾的分拣（去除塑料等不可堆肥物）、控制堆肥原料的配比，到定期翻堆、监测温湿度、尽量避免产生异味和渗滤液，每一步都需要动手操作与耐心维护——例如，翻堆时需调整水分湿度，监测时需记录数据并及时调整方案，这些过程能锻炼动手能力、解决问题的能力（如出现异味时排查是否因水分过多或通气不足）。同时，堆肥成果的好坏直接取决于前期劳动的细致程度，这种“劳

动与成果强关联”的特性，能让参与者（尤其是儿童）建立“付出即有回报”的认知，培养责任意识与专注力，还能通过收获堆肥、种植作物，体会“劳动创造价值”的意义，提升生活自理与实践能力，同时能够提升团队合作与社会交往能力。

如湖北恩施学院打造“吾耕园”生态劳动教育基地，将堆肥实践作为《劳动教育》必修内容，年覆盖 1.8 万名学生。基地不仅提供堆肥实操场地，还开设“生态农业”“垃圾资源化”等专题讲座，引导学生从“堆肥操作”延伸至“生态保护思考”。



图 6-11 湖北恩施学院劳动周同学在吾耕园堆肥

### 6.3.2.多场景、多学段的融合模式

#### （1）与基础教育结合：打造“校园—社区”联动的劳动与科学课程

社区堆肥可作为中小学劳动教育、科学实践课程的延伸课堂，形成“校园学习+社区实践”的联动模式。例如，小学阶段可开展“堆肥观察日记”活动：学生在课堂学习“微生物分解”知识后，到社区堆肥点定期观察温度、颜色变化，记录堆肥进程，绘制“堆肥变化曲线图”，还可参与简单的分拣、翻堆劳动，培养劳动习惯；中学或大学阶段可设计堆肥科学探究课题，如分组研究不同原料配比对堆肥效率的影响、翻堆频率对发酵速度和堆肥产物品质的影响，通过控制变量、数据检测、撰写报告，提升科学探究能力。部分学校还可与社区合作，将学生参与堆肥的实践纳入“劳动教育学分”，让社区堆肥成为基础教育的重要补充。

#### （2）与社区教育结合：覆盖全年龄段的“终身学习”场景

社区堆肥可针对不同群体设计差异化社区教育活动，打造全民参与的终身学习平台。针对儿童，开展亲子堆肥工坊，通过游戏化方式，让家长与孩子共同学习堆肥知识，增进亲子互动。针对老人，开设堆肥与园艺课程，结合老人擅长的种植经验，讲解“堆肥如何改良土壤”、“堆肥种植的技巧”等，鼓励老人用堆肥培育社区菜园，丰富晚年生活。通过线上科普（如堆肥知识短视频）、周末集中实践（如堆肥日），让忙碌的上班族也能利用零散时间参与，学习低碳生活技能。还能推进残障群体社会融合，开展“无障碍堆肥教育”。提供改良工具（如低



矮堆肥箱、省力翻堆铲），设计简单易懂的操作指南，让残障群体在参与中学习技能，增强社会融入感。

### （3）与职业教育、高等教育结合：推动“专业研究”与“社会服务”融合

社区堆肥也可成为职业教育与高等教育的实践基地和研究载体。

职业教育领域，环境类、农业类专业可将社区堆肥作为实训项目。学生通过为社区设计堆肥方案（如根据社区规模确定堆肥箱数量、优化通风结构）、解决实际问题（如异味控制、重金属检测），提升专业技能，同时为社区提供技术支持。高等教育领域，高校可围绕社区堆肥开展科研项目（如微生物菌剂对堆肥效率的提升研究、社区堆肥的碳减排效益测算），并组织学生志愿者到社区开展科普讲座、技术培训，实现科研成果转化与社会服务的双向赋能，既提升学生的科研与实践能力，也为社区堆肥的科学化推进提供支撑。

### 6.3.3.构建“社区—家庭—学校”的教育共同体

社区堆肥的教育价值还体现在其能串联起社区、家庭、学校三大教育场景，形成协同育人的合力。学生在社区参与堆肥后，会将环保知识与劳动习惯带回家，带动家长参与厨余垃圾分类、家庭小型堆肥（如阳台堆肥箱）。学校通过与社区合作，将堆肥教育纳入课程体系，让家庭成为课后实践场，社区成为延伸课堂。社区可通过整合学校资源（如教师、场地）、家庭力量（如亲子参与），让堆肥教育持续落地。这种“三方联动”的模式，不仅让教育突破单一空间限制，更能形成“家校社共育”的良好生态，让可持续发展、劳动光荣、科学探究等价值观渗透到生活的方方面面。

北方社区堆肥推广中心将堆肥与校园零废弃活动相结合，形成一套堆肥落地校园的推广方式。首先会根据学校的具体需要，开展各类学生可参与的活动，比如旧物改造、校园种植等，待校内形成一定的废弃物资源化利用氛围时，再酌情进行社区堆肥理念的介绍和堆肥实操工作的推进。



图 6-12 北方社区堆肥推广中心和学校合作宣传堆肥



## 6.4. 疗愈与群体融合

社区堆肥以自然互动为核心场景，为居民提供亲近自然、参与劳动的机会，搭建起各类群体交流融合的平台。社区堆肥的疗愈价值和群体融合效益，本质是以生态实践为链接，联结不同个体，构建社会关系，实现赋能式参与。

### 6.4.1. 疗愈效益：从心理舒缓到价值重建，缓解现代生活压力

#### (1) 自然接触与劳动实践：缓解焦虑，释放情绪压力

现代人常因快节奏生活、高强度工作面临焦虑、抑郁等心理问题，而社区堆肥提供了“低成本、易参与”的自然互动场景。居民在参与厨余垃圾分拣、堆肥翻抛、监测温湿度等劳动过程中，需专注于土壤、微生物、肥料等自然元素，这种沉浸式劳动能让人暂时脱离电子设备与工作压力，通过触觉（接触土壤、腐熟堆肥产物）、嗅觉（自然发酵气味）、视觉（堆肥颜色变化、后期绿植生长）与自然建立深度连接，实现自然疗愈功能。

研究表明，接触自然环境可降低人体内皮质醇（压力激素）水平，重复性的轻度劳动（如翻堆、筛肥）还能带来心流体验，帮助平复情绪、缓解精神紧张。此外，堆肥过程中“垃圾变肥料”的可视化转变，能让公众直观感受到“付出即有收获”的确定性，这种确定性在充满不确定性的现代生活中，可有效缓解焦虑感，带来心理安全感。

四川美术学院“愈园计划”组建学生自组织团队，创新采用“堆肥操作+艺术创作”融合模式——学生将堆肥过程中的观察（如微生物变化、植物生长）转化为绘画、雕塑作品，既掌握了堆肥技术，又通过艺术表达缓解心理压力。



图 6-13 四川美术学院社区堆肥生态艺术中心与愈园计划

## （2）成果反馈与自我实现：重建价值感，提升心理韧性

社区堆肥产物不仅可用于社区绿化，还能让居民用于家庭园艺（如种植蔬菜、花卉），当居民看到自己参与制作的堆肥培育出绿植、结出果实，会获得强烈的自我价值认同。这种从无到有的创造过程，尤其对空巢老人、全职妈妈、失业人群等易产生价值感缺失的群体意义重大。有社区堆肥项目证明，空巢老人通过每日照料堆肥、打理社区菜园，填补生活空闲时间，减少孤独感。全职妈妈在参与堆肥与园艺中，获得了除家庭角色外的新身份认同，增强自信心。

堆肥过程可能会出现异味、发酵失败等问题，居民在解决这些问题的过程中，需学习技术、沟通协作，逐步提升应对困难的能力，这种在实践中成长的经历，能进一步增强心理韧性，帮助个体更好地应对生活中的挑战。对于堆肥管理者，通过尽职尽责的堆肥管理，会获得社区居民、社会公众的尊重，其自信心极大增强。

### 6.4.2.群体融合效益：打破“身份壁垒”，构建“多元共融”的社区关系

#### （1）低门槛参与：覆盖全年龄段与多元群体，减少参与排斥

社区堆肥操作难度低、参与形式灵活，几乎无年龄、体力、职业、学历的限制，能覆盖从儿童到老人的全年龄段群体，以及不同的社会身份，如上班族、自由职业者、残障人士等。

儿童可参与简单的垃圾分拣、观察堆肥变化，培养环保意识。行动不便的残障人士可通过协助记录堆肥数据、宣传堆肥知识参与其中。上班族可利用周末时间参与翻堆、施肥等工作。这种人人可参与的低门槛特性，避免了因专业能力要求高、时间成本高导致的群体排斥，可让不同群体都找到适合自己的参与方式，为多元群体的互动提供了基础。

#### （2）特殊群体关怀：为边缘化群体提供“社会融入”通道

社区堆肥既是践行环保的绿色行动，也是助力边缘化群体融入社会的暖心载体。适配改良翻堆铲、低矮堆肥箱等工具，让残障人士突破身体限制，在自主参与中收获成就感，减少自我封闭；自然互动、轻度劳动与群体协作的模式，能帮精神障碍康复者舒缓心灵，在规律劳作与稳定联结中重建安全感，逐步恢复社交能力；在习得环保技能的同时打破身份隔阂，在认可中增强归属感。这场与自然共生的实践，让每个边缘身影都能找到价值，在共建共享中感受社会的包容与温暖。



北京市朝阳区常营地区首开畅心园社区针对残障群体的感知特点，设计“触觉辅助工具+可视化操作流程”，残障参与者表示“通过堆肥技能获得了邻里认可，找到了自我价值感”，部分参与者还成为社区堆肥“技术指导员”，实现从“参与者”到“引领者”的转变。



图 6-14 北京常营残障群体进行社区堆肥 来源：北京市朝阳区玉华残障人士康养服务中心

无锡吉祥国际花园小区是一个多外来务工人员居住的小区，邻里间交流极少。参与式社区堆肥开始后，居委会工作人员发现“不认识的居民出来了”。参与式社区堆肥借助居民下楼扔垃圾的机会组织堆肥活动增进居民交流，通过在社区群中进行堆肥话题的讨论进一步拉近了社区和居民关系。一些以前没有参与社区事务的居民，走出来自动加入到家庭垃圾分类和社区堆肥的队伍中，居委会预想的社区治理目标也得以实现。



图 6-15 无锡吉祥国际花园居民参与式堆肥

北川大鱼公益妈妈农场是一家服务困境青少年的公益性农场。目前托管了近三十位以孤儿、事实无人抚养儿童、低保家庭儿童为主的青少年。通过参与堆肥，儿童自我价值认知和自信心获得了明显提升。从堆肥的基本原理以及对于改良土壤的作用直至生产出绿色生态的蔬菜，孩子们仔细地观察用心去感知。孩子们主动按照堆肥操作流程自行开展测温、翻堆、浇水、记录等。暑假期间，由于白天高温酷热难当，孩子们甚至利用夜晚温度降低的时候挑灯夜战翻堆。



图 6-16 北川大鱼妈妈农场堆肥活动 来源：北川大鱼公益妈妈农场

## 6.5. 社会价值延伸

社区堆肥虽规模小，但作为基层环保实践，其社会价值能延伸至“无废城市”建设、低碳城市建设、循环经济发展、社会治理创新等宏观层面，为社会可持续发展提供微观支撑。

### 6.5.1.为“无废城市”建设提供基层样本

“无废城市”建设的核心是源头减量、资源循环，且相关政策的落地，需要社区层面的具体实践支撑。社区堆肥则是“无废社区”的核心实践场景之一，能为“无废城市”建设提供可复制、可推广的基层样本。

社区堆肥作为“居民看得见、摸得着”的“无废城市”、循环经济等政策的实践，能让居民更理解政策意义，主动配合政策执行，打通政策落地的“最后一公里”。

社区堆肥实现了社区内“厨余垃圾→有机肥/有机改良基质/黑金土→社区绿化/家庭园艺”的就地循环，这种模式可以推广复制，为社区提供垃圾分类+资源化利用的范本。社区堆肥与垃圾分类的结合，能推动城市从末端垃圾处理向源头减量与循环利用转型。此外，社区堆肥能为更大范围的资源循环，如社区与农场



合作、堆肥产物供应农场提供基础，是“无废城市”、“双碳”目标的重要组成部分。

### 6.5.2.推动循环经济发展，培育绿色产业

社区堆肥虽不是产业项目，但能通过需求牵引与意识培养，推动循环经济相关产业的发展。社区堆肥的推广，会催生对小型堆肥设施、粉碎机、监测工具等产品的需求，同时带动堆肥技术指导、运营服务等服务业的发展，为社会提供绿色就业岗位，如堆肥技术指导员、社区堆肥运营专员。通过社区堆肥的教育作用，居民会更关注绿色、环保的产品（如有机蔬菜、环保包装产品），推动绿色消费市场的扩大，进而带动有机农业、环保产业的发展，形成“社区实践—消费需求—产业发展”的循环。

### 6.5.3.创新社区治理模式，为社会治理提供基层经验

社区堆肥在实践中形成的“多元共治、居民参与、资源共享”模式，不仅适用于环保领域，还能为其他社区治理问题，如养老、文化建设，提供可借鉴的经验，推动社会治理创新。例如，社区堆肥形成的“物业—居民—外部组织”多方协作机制，可应用于社区安全管理（如物业、居民、派出所协作）、社区矛盾调解（如物业、居民、社区居委会协作）等领域，提升社区治理的协同效率。社区堆肥作为小型、本地化的社区服务项目，其低成本、高参与度的特点，可为资源有限的小型社区提供了治理思路，无需大规模投入，通过调动居民积极性、利用本地资源，即可解决民生问题，提升治理效果，这种“小而美”的社区服务模式是共建共治共享社会治理格局在基层的生动体现。

## 6.6. 结论：成效突出，差异明显，潜力巨大

社区堆肥作为垃圾资源化利用与社区治理创新的重要实践，在推动“垃圾围城”破解与可持续发展理念传播、社区发展、教育、疗愈与群体融合等维度已展现出显著的社会效益，是其超越集中式处理技术路径的核心竞争力。

| 垃圾分类   | 社区治理  |
|--|---|
| 成为推动垃圾分类从“形式化”走向“实质化”的关键抓手   | 通过“小切口”（垃圾处理）撬动“大治理”（社区共建共治）  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 垃圾分类体系中兼具实践性与可持续性的重要环节；</li> <li>● 推动实现垃圾分类精度提升、垃圾总量减量、资源循环利用的多重目标；</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 激活居民参与的内生动力，提升社区的自治能力与文化凝聚力；</li> <li>● 推动社区治理向多元、精细、可持续方向发展，为构建“和谐、绿色、宜居”的现代社区提供了切实可行的实践路径；</li> </ul>                                      |
| 教育   | 疗愈与群体融合   |
| 构建“实践导向、全民参与、协同育人”的特色教育模式  | 以生态实践连接不同个体和各类人群  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 既是知识传递的载体，也是能力培养的平台，更是价值观塑造的媒介；</li> <li>● 通过场景融合、资源联动，为推动素质教育、终身教育与可持续发展教育提供了切实可行的路径；</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 通过自然互动与劳动实践，为个体提供了心理舒缓与价值重建的空间；</li> <li>● 以低门槛、平等化的参与场景，打破了群体壁垒，为多元群体的交流融合搭建了桥梁；</li> <li>● 提升居民的生活幸福感与归属感，助力构建“包容、温暖、有韧性”的现代社区。</li> </ul> |

相比传统垃圾处理方式，社区堆肥的社会效益既有形，又深远——它不仅实现变废为宝，更改变了居民生活方式与社区治理模式，是“人与自然和谐共生”理念在社区层面的最佳实践，也是“建设人人有责、人人尽责、人人享有的社会治理共同体”的重要路径。在居民—社区—社会三个维度层面，社区堆肥都能提供持久动力。

| 居民层面  | 社区层面                                    | 社会层面  |
|---|---|---|
| 生活品质的提升器                                    | 社区治理的粘合剂                                | 可持续发展的微观基石                                      |
| 改善人居环境、提供绿色资源、丰富生活场景，让居民从“环境旁观者”向“生活创造者”转变。 | 激活居民参与、化解邻里矛盾、降低治理成本，让社区从“管理型”向“共治型”转变。 | 推动“无废城市”建设、培育循环经济、创新社会治理，让社区实践从“局部探索”向“全局辐射”转变。 |

综上所述，社区堆肥的社会价值已超越单个社区范畴，通过“模式复制+理念传播”，在更大范围内扩散可持续发展理念，形成“社区实践—社会示范—行业推广”的价值传导链条。

同时，不同场域类型的社区堆肥项目社会效益各具特色。城市社区凭借多元主体参与、资金技术充足，社会效益全面领先。学校社区依托教育场景优势，教育效益突出。农村社区则能通过垃圾管理、老龄人口陪伴等方式和乡村振兴紧密

挂钩。总体来说，有外部资源（如政府补贴、社会组织支持）的社区堆肥，在项目规模、持续时间、效益转化上，均优于仅靠社区独立运营的项目。

尽管在经济维度仍存在短板（市场化程度低、可持续性不足），但通过推广多元共治模式、深化校社联动、强化示范推广、创新经济模式，社区堆肥的社会效益将进一步释放。未来，需持续完善科学评价体系，积累更多实践数据，让社区堆肥在生态保护、社区治理、全民教育中发挥更大作用，为建设“资源节约型、环境友好型”社会提供基层实践支撑。

# 7

## 总结与展望

### 章节看点

- 因地制宜和科学规范的管理是实现社区堆肥综合效益最大化的关键。
- 社区堆肥的落地与推广还面临政策与经济性不足的制约，需要各方协同推进。





# 前言

社区堆肥作为一种自下而上的参与式过程，其核心在于公民的广泛参与，并在环境资源、碳排、社会、经济各方面产生效益。厨余、园林绿化废弃物、农田秸秆尾菜等有机废弃物在居民小区、乡村居住地、学校、公园等场所就地堆肥消纳，减少垃圾总量；堆肥产物回归当地土壤，增加有机质，改良土壤。同时，通过公众协作与积极参与，不断深化社区与自然环境的联结，不仅激发本地行动，更推动了一场全国性乃至全球性的立足社区、基于自然的生态保护运动。

## 章节目录

1. 报告主要结论
2. 报告局限性与深化方向
3. 报告本土化价值与全球化视野
4. 我国社区堆肥实践指南与展望

## 7.1. 本报告的主要结论

实施 7 年的社区厨余堆肥项目已经论证该技术路径的可行性，积累了丰富的实践经验，产生了广泛的社会影响力和公众教育成效。可以说，社区堆肥能够为我国提供一条有机固废资源化有益补充的技术路径，也能为国家实现“双碳”目标和可持续发展提供有力支撑。

通过本报告评估结果（表 7.1）：社区堆肥是多重友好型的社区有机废弃物处理方式—其核心价值不仅是减少垃圾量，更是通过有机质和养分循环（替代化肥、固碳）、短链运输（降低能耗）、好氧发酵（削减温室气体），实现从垃圾处置到资源循环的转型，真正实现变废为宝，能够改善当地土壤。

### （1）环境与资源效益显著，契合国家废弃物管理战略方向

社区堆肥在有机废弃物处理技术中表现出“环境影响最小、能耗资源消耗极低、资源转化率高”的优势，可有效降低大气、土壤、水污染风险，其潜在风险在规范化管理下可控。该模式通过“有机废弃物—堆肥—土壤改良”的生态循环链，实现有机质与养分循环，替代化肥使用，助力土壤改良与生态修复。

### （2）气候变化效益突出，助力“双碳”目标落地

作为本地化气候解决方案，社区堆肥具备明确的减碳与固碳价值。一方面，可削减有机废弃物进入填埋/焚烧环节产生的甲烷（强效温室气体）排放，在规范管理下还能避免堆肥过程直接温室气体排放；另一方面，堆肥产物用于土壤改良可实现碳封存，同时减少运输能耗与化肥相关碳排放，为国家“双碳”战略目标提供基层实践支撑。

### （3）经济效益可持续，降低多方成本负担

社区堆肥是一种经济可行、长期受益的社区废弃物管理创新模式。它通过资源循环实现“省钱+赚钱”。社区堆肥初期设施投入与运营成本均低于集中式处理中心，且可通过志愿者参与进一步压缩成本。从长期效益看，堆肥产物替代商品有机肥，能减少社区绿化养护、居民园艺种植支出；同时降低城市垃圾转运与末端处理的公共财政压力，形成“源头减量—资源循环—成本节约”的可持续模式，为“‘无废城市’/社区”建设提供兼具环保与经济价值的优选路径。

### （4）社会效益独特，赋能社区治理创新

相较于集中式处理工艺，社区堆肥的核心竞争力在于社会效益。它在推动垃圾分类落地、激活社区治理活力、构建环境教育模式、促进社会包容与赋权、有效增强居民环保意识与社区凝聚力，为本地社区创造就业机会等方面具有显著成效，可作为基层生态文明建设的重要载体。

表 7.1 社区堆肥的主要优势、缺点和要求

|          | 优势   | 缺点   | 要求   |
|----------|--|--|--|
| 技术管理方面   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 社区堆肥技术适用范围广，仅极寒地带冬季户外不适用。</li> <li>✓ 相比焚烧，所需设备设施更简单，可灵活适配不同社区场景。</li> <li>✓ 管理便捷，一线社区人员经培训后即可操作管理。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ 管理不当易导致堆体产生异味、蝇虫及渗滤液，邻避效应明显，还会影响堆肥产物品质。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>★ 建立规范且因地制宜的操作管理流程。</li> <li>★ 堆肥原料需从源头进行分类。</li> <li>★ 距离公众近，对环境卫生、异味控制要求高。</li> </ul>   |
| 环境资源效益方面 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 在大气、土壤、水三方面环境影响表现极佳。</li> <li>✓ 运输距离和物质能源消耗极小，远低于集中处理，几乎没有工业原料消耗。</li> <li>✓ 资源转化率高。</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ 不确定因素较多，高度依赖管理水平和原料来源，污染防控体系相对脆弱。</li> <li>✗ 堆肥产物受原料来源和配比影响大，可能具有盐害和重金属超标风险。</li> <li>✗ 堆肥产物品质相对不稳定，市场化困难。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>★ 需要规范管理，按照科学方案进行堆肥操作，并及时妥善处理渗滤液、蝇虫等突发问题。</li> <li>★ 需至少两次翻堆保证堆体均质化、堆肥温度应至少 55℃并持续 5 天、堆肥原料应安全。</li> <li>★ 需要市场对堆肥产物进行接受和理解。</li> </ul> |
| 气候变化效益方面 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 可避免有机废弃物进入填埋、焚烧。</li> <li>✓ 减少运输产生的能耗，距离越远，社区堆肥碳减排潜力越大。</li> <li>✓ 降低对化学肥料的需求，减少化学肥料相关的大量温室气体排放。</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ 管理不当，堆肥过程会产生直接温室气体排放。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>★ 选择合适的配方，管理规范，避免温室气体排放，且尽可能增加堆肥产物价值。</li> </ul>  |
| 经济效益方面   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 社区堆肥可降低运输与运营成本，初期投资建设和运营成本也低于集中式处理处置中心。</li> <li>✓ 堆肥产物可自用，可节省购买化肥、有机肥的费用。</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ 连续堆肥，处理量超过 30 公斤/天时，需要专门场地和设施；</li> <li>✗ 目前销售还未打通市场，缺少政策依据。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>★ 规模较大时无法完全依靠人工运营和操作。</li> <li>★ 需认识到堆肥产物的其他价值，并积极推动商品化。</li> </ul>   |
| 社会效益方面   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 推动垃圾分类落地。</li> <li>✓ 能够多维度激活社区治理活力，成为推动社区共建共治共享的重要抓手。</li> <li>✓ 构建特色环境教育模式。</li> <li>✓ 帮助疗愈和实现群体包容。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✗ 管理不当，居民投诉风险高。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>★ 社会效益建立在多方联动上。</li> </ul>  |

## 7.2. 本报告的局限性与深化方向

本报告虽对社区堆肥综合效益进行了全面评估，但仍存在局限性，需进一步深化研究，以提供更具落地指导性的推广方案：

### （1）数据样本与时效性不足

调研样本主要集中在社区厨余堆肥平台活跃伙伴，覆盖范围较窄，且样本量较小；同时，长期效益数据（如土壤改良长期效果、堆肥产物持续影响）的连续性与完整性有待补充，难以全面反映不同区域、不同规模堆肥项目的实际效益。

### （2）效益评估维度与量化研究不深入

当前评估聚焦四大核心维度，但对社区气候适应能力与韧性、堆肥对生物多样性影响等细分领域研究深度不足；且缺乏对原料成分、堆肥产物品质、土壤改良效果的长期跟踪检测，未对堆肥过程碳排放进行实测，部分效益依托排放因子进行核算，部分结论仍以定性描述为主，量化支撑力度有待加强。

### （3）推广可行性分析缺乏针对性

报告未针对不同地区气候条件、不同社区场景、居民接受度差异等实际问题，开展分区域、分场景的专项分析；同时，对技术标准化、堆肥产物市场化（如缺乏政策依据支撑销售）等推广关键问题的探讨不足，导致部分结论的落地指导性较弱。

## 7.3. 本报告的本土化价值与全球化视野

本报告通过系统梳理社区堆肥在环境资源、气候变化、经济、社会四大维度的综合效益，不仅为这一低碳环保实践提供了科学的数据支撑与价值论证，更重要的是，其结论可直接转化为推动社区堆肥从“局部试点”走向“广泛落地”的实践指南，为破解当前城市有机废弃物处理难题、助力“双碳”目标基层落实、创新社区治理模式、助力全球有机废弃物处理体系优化等方面提供关键参考。





### 本土化价值

- 为社区堆肥本土化推广提供科学支撑
- 助力垃圾分类与资源循环体系完善
- 赋能社区治理与基层生态文明建设



### 全球化视野

- 为全球城市有机废弃物处理提供中国方案
- 推动低碳社区建设的国际交流与合作
- 为全球生态文明建设贡献基层力量

## 7.3.1.本土化价值

整体来看，社区堆肥整体契合我国有机废弃物管理领域的法律法规及政策导向，具备明确的合规性前提，为其推广壮大发展提供了政策框架支撑。无论是对地方政府制定相关政策、社区推进具体项目，还是对公众理解并参与堆肥实践，本报告所提炼的结论均具备明确的指向性与可操作性，可将社区堆肥的潜在价值转化为推动城市可持续发展与基层生态文明建设的实际动能。

### （1）为社区堆肥本土化推广提供科学支撑

本报告明确的社区堆肥四大维度的核心价值，为各地推广社区堆肥提供了切入点。地方政府可依托报告数据，将社区堆肥纳入低碳城市、零碳社区建设规划，契合《减污降碳协同增效实施方案》（环综合〔2022〕42号）中对绿色社区建设的要求，通过政策引导（如纳入地方垃圾减量/资源化考核）、资金扶持、技术培训等方式，推动堆肥项目在不同类型社区落地；同时，可结合本地特色讲好“低碳社区故事”，通过居民参与案例展示、堆肥成果共享等形式，提升居民对堆肥项目的认可度与参与度，争取社区层面的广泛支持。

### （2）助力垃圾分类与资源循环体系完善

社区堆肥作为厨余垃圾就地处理的有效路径，其推广实践可弥补传统垃圾处理模式的不足，缓解城市垃圾处理压力。报告结论可为各地优化垃圾分类配套设施、建立“分类—处理—资源化”闭环体系提供参考，推动垃圾处理从“末端处置”向“源头减量+资源循环”转型，为“双碳”目标实现提供基层实践支撑。

### （3）赋能社区治理与基层生态文明建设

社区堆肥不仅是环保实践，更是社区治理的创新纽带。报告凸显的社会效益，为社区以环保项目凝聚居民力量、提升治理效能提供了新思路——通过组织堆肥志愿活动、成果共享会等，增强邻里互动与社区凝聚力；同时，堆肥过程中的环境

教育场景，可推动生态文明理念在基层落地，促进“人与自然和谐共生”的社区氛围形成，为美丽中国建设提供微观实践样本。

### 7.3.2. 潜在的国际意义

在全球气候变化和固废管理日趋严峻的背景下，本报告凸显了社区堆肥的潜在国际意义与全球化视野：

#### （1）为全球城市有机废弃物处理提供中国方案

在全球“双碳”目标下，城市有机废弃物资源化利用是各国面临的共同课题。在全球城市固体废物预计将从2023年的21亿吨增至2050年的38亿吨的趋势下，社区堆肥的低成本、易操作、高参与度模式可为其他国家，尤其是发展中国家，提供可借鉴的技术路径和管理经验，呼应国际社会对废物分层管理的呼吁，助力全球有机废弃物处理体系优化。

#### （2）推动低碳社区建设的国际交流与合作

社区堆肥作为零碳社区建设的核心模块，其中国实践成果可通过联合国环境规划署、联合国气候变化大会等平台分享，促进各国在低碳社区规划、居民参与机制、政策支持体系等方面的交流互鉴，同时可依托社区堆肥进一步提升在全球低碳治理中的话语权。

#### （3）为全球生态文明建设贡献基层力量

社区堆肥倡导的“循环利用、绿色低碳”理念，与全球生态文明建设的核心诉求高度契合。其推广实践可为其他国家提供基层环保的“可落地样本”，推动环保理念从“政府主导”向“公众参与”转变，助力构建“人与自然生命共同体”，为全球可持续发展目标（SDGs）的实现提供微观层面的实践支撑。

## 7.4. 我国社区堆肥实践指南与展望

基于报告的量化分析及实践经验总结分析，发现规范化的管理不仅是社区堆肥项目成功的关键，更是实现其环境资源、气候效益、经济效益、社会效益最大化的核心。若能进一步推动社区堆肥与城市废弃物管理紧密结合，结合本地特色因地制宜地进行工艺优化与规范管理，将堆肥与社区工作、公众参与等结合，进一步提升综合社会效益，社区堆肥有潜力成为推动美丽中国建设的关键技术路径之一。

### 7.4.1.社区堆肥的实践指南与管理策略建议

本节将这些策略系统化，为社区堆肥实践者提供一套可操作的实践指南。

#### 7.4.1.1. 设计思路：因地制宜，控本节能，聚焦原料本地化

社区堆肥设计需紧密结合社区实际条件，以低成本、低能耗、本地化为核心原则，降低项目落地难度与环境影响：

- **场地选址**需与社区管理方、居民与相关利益方共同协商确定，结合社区类型、空间布局等因素，避免因选址不当导致额外的运输成本或改造能耗，确保场地与生产生活环境兼容，降低后续矛盾风险。
- **设施选择**优先适配社区规模与资源条件，以无动力、低能耗堆肥设施为主，且设施需要和当地气候条件、社区要求匹配；单个设施装载容量建议在  $0.7\sim 2.0\text{m}^3$ ，设施装载高度不建议超过  $1.2\text{m}$ 。
- **堆肥原料**以社区内部产生的有机废弃物为主要原料，包括居民日常厨余垃圾、社区绿化修剪产生的落叶、枯枝，或者农作物秸秆等，坚决避免为凑料而从远距离外购原料，从源头杜绝运输环节的燃油消耗与碳排放。

#### 7.4.1.2. 管理策略：科学规范，消弭邻避，降低碳排放

良好的管理与温室气体减排手段高度一致。堆肥中需要重点关注含水率、通风供氧和堆料的初始特性（C/N）等关键指标，通过良好的管理实现异味小、蚊虫少、无渗滤液并获得品质良好的堆肥产物。

科学规范的管理是社区堆肥项目稳定运行的关键，既要解决居民关切的邻避效应，又可实现温室气体减排目标：

- **建立源头分类机制**，避免因原料混杂导致堆肥效率下降或堆肥失败，减少后续处理成本；建立厨余垃圾日产日堆机制，避免物料长时间堆积引发厌氧发酵产生温室气体；若需临时储存，及时混入足量高碳物料，使 C/N 比大于 30:1，抑制厌氧菌活性，降低温室气体逸散风险。
- **严格控制堆肥关键参数**：物料配比合适，将初始碳氮比（C/N）稳定在 20:1-40:1 之间，整体含水率调节至 50%~60%，避免因参数失衡导致微生物活动异常。
- **尽量避免产生异味、蝇虫和渗滤液**：定期监测堆体状态（温度、湿度、异味、蝇虫等），定期翻堆，以无异味、无蝇虫和无渗滤液作为堆体好氧状态的黄金指标，若出现问题，立即翻堆添加吸水性碳源辅料降低湿度，化解邻避效应。适当情况下，可将前期腐熟的堆肥产物（或筛余物）作为生物覆盖层覆盖在新投加的堆料表面，其含有的甲烷氧化菌可氧化逸散的  $\text{CH}_4$ ，研究表明能降低超 50% 的  $\text{CH}_4$  排放。

- **定时检测，保障堆肥产物品质：**堆肥产物的品质对于堆肥持续性十分关键，品质良好的堆肥产物具有多重效益，且优质的堆肥产物施用至社区绿地、居民菜园，能够改良土壤的同时改善社区环境，增加土壤碳汇潜力，形成“堆肥—还土—固碳”的低碳循环。在原料、设施、操作管理方法不变化的情况下，一般建议一年至少进行一次堆肥产物品质检测，且在发现问题后立即排查原料来源和原料安全性。

#### 7.4.1.3. 协同机制：结合社区工作与公众参与，凸显社会效益

社区堆肥需融入社区治理体系，通过引导公众参与，实现多重效益提升：

- **联动社区工作，搭建协作机制：**将社区堆肥纳入社区日常工作范畴，并充分和社区居委会、物业等基层机构协同分工，建立政府指导+社区牵头+居民参与的多方协作模式：政府负责提供政策支持与技术指导，社区负责场地协调、设施维护与流程监督，形成权责清晰的管理体系，保障项目长期稳定运行。
- **优化公共空间规划，丰富社区公共服务：**结合社区公共空间规划，将堆肥点与社区绿地、科普角等结合，既合理利用社区空间，又将堆肥项目转化为社区环保教育载体，丰富社区公共服务功能。
- **引导公众参与，开展多样化参与活动：**组织居民参与堆肥操作、指导居民正确分类投放厨余垃圾、人工翻堆等环节，让居民亲身参与堆肥全过程，增强对项目的认同感与归属感；针对社区内青少年、老年人等群体，设计趣味堆肥科普课堂、堆肥绿植领养等特色活动，扩大参与覆盖面。
- **共享堆肥成果，凝聚社区共识：**将堆肥产物免费或低价提供给参与居民用于家庭种植，或用于社区公共绿地养护，让居民直观感受到堆肥的实际价值；通过社区公告栏、微信群等渠道定期公示堆肥项目进展（如原料处理量、产物产量），增强项目透明度，激发居民参与热情，最终以堆肥项目为纽带，提升社区凝聚力，营造共建、共治、共享的社区环保氛围。

#### 结合社区工作与公众参与， 凸显社会效益

- 联动社区工作，搭建协作机制
- 优化公共空间规划，丰富社区公共服务
- 引导公众参与，开展多样化参与活动
- 共享堆肥成果，凝聚社区共识



#### 因地制宜，控本节能，聚焦原料本地化

- 场地选址多方讨论，综合考虑确定
- 设施以低能耗、低成本为主，因地制宜
- 堆肥原料以社区内有机废弃物为主

#### 科学规范，消弭邻避，降低碳排放

- 建立源头分类机制
- 严格控制堆肥关键参数
- 尽量避免产生异味、蝇虫和渗滤液
- 定时检测，保障堆肥产物品质



### 7.4.2.社区堆肥后续推进方向

作为我国有机废物资源化利用体系的重要补充路径，社区堆肥是城市固体废物“减量化、资源化、无害化”目标的关键实践载体，但其发展需纳入城市整体废弃物管理规划，统筹考量经济可行性、社会接受度与环境效益，实现与城市治理体系的协同适配。

从实践层面看，社区堆肥的落地与推广壮大面临两大制约，具体如下：

- **政策与标准体系缺位：**当前领域内缺乏针对性的政策文件、专项法规及行业技术标准，导致政府主管部门对社区堆肥模式的认知度与接受度较低，自上而下的政策推动机制难以建立；同时，政策空白也使社区堆肥作为厨余垃圾资源化技术路径的合法诉求无法有效落地，制约其纳入官方废物处理体系。社区堆肥在实施过程中常面临被迫撤出的风险，发展陷入投诉频发—项目停滞的恶性循环。
- **经济可持续性不足：**社区堆肥产物和厨余堆肥产物尚未形成标准化产品体系，缺乏市场流通与价值变现的渠道，导致项目经济收益与运营成本严重失衡，直接削弱实践主体（如社区、社会组织）的参与积极性，形成“无收益—低投入—推广乏力”的运营困境。

针对上述制约，需从政策、实践、评估三个维度构建协同推进机制，系统性推动社区堆肥进一步发展壮大，具体路径如下：

- **政策协同：构建自下而上+案例驱动的政策突破路径**—以自下而上试点、以点带面推广为核心模式，依托现有社区堆肥项目开展实践验证，形成可复制的典型标准和标准制定；以案例成果和相关团标、地方标准为支撑，推动地方政府出台相关支持政策（如将社区堆肥纳入垃圾分类、垃圾减量、低碳社区建设等相关政策支持与补贴），进而向上衔接国家层面政策，争取政策背书与资金扶持，破解政策缺位问题。
- **实践赋能：强化示范引领与专业能力建设**—依托实践伙伴（如专业环保机构、示范社区）的标杆项目，发挥其示范效应，提升地方政府与公众对社区堆肥资源化价值的认知；同时通过技术培训、运营指导等方式提升社区堆肥实践者的专业性，降低运营风险，保障堆肥产物品质，实现堆肥稳定运行。
- **评估优化：建立多维度影响评估体系**—将社区堆肥纳入城市废物处理系统的整体评估框架，构建涵盖经济（运营成本、收益潜力）、环境（碳减排、污染物控制）、社会（公众接受度、就业带动）的多维度影响评估模型，通过评估结果优化项目规划与政策设计，提升社区堆肥在城市固体废弃物管理中的效率与适配性。

# 参考文献

- [1] Ashraf,A.I.,Mohareb,E.,Vahdati,M. etal. Environmental life cycle assessments of decentralized municipal solid waste management:a novel waste-to-compost approach. *Discov Sustain* 6,138 (2025).
- [2] 徐涛.厨余垃圾生命周期评价 [D]. 华中科技大学, 2013.
- [3] 张慧.基于全生命周期的厨余垃圾处置利用技术综合评价研究 [D]. 浙江大学, 2022.
- [4] International Energy Agency.Ammonia Technology Road map [R]. Paris: International Energy Agency, 2021.
- [5] Intergovernmental Panel on Climate Change, “7.4.3.2Fertilizermanufacture,” *Climate Change 2007:Working Group III:Mitigation of Climate Change*,2007.
- [6] Colorado State University Extension. Choosing a soil amendment [EB/OL]. 2025-09-24. <https://extension.colostate.edu/resource/choosing-a-soil-amendment/>.
- [7] 李燕青, 温延臣, 林治安, 赵秉强.不同有机肥与化肥配施对氮素利用率和土壤肥力的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2019,25 (10):1669-1678.DOI:10.11674/zwylf.18417
- [8] Zhang,L.,Li,X.,Wang,H.,et al. Effects of Different Fertilization Regimeson Soil NutrientStatusandCropYieldinaGreenhouseVegetableSystem [J].*Agriculture*,2022,12 (4):440.
- [9] 张健男, 谢洪宝, 孙阎.有机肥料的合理增施对土壤性质影响研究 [J]. *中国农业科技导报*, 2018,34 (27):124-130.
- [10] vanElsas,J.D.,Costa,R.,vanOverbeek,L.S.,&Salles,J.F.(2010).Unravelingtherhizospheremicrobiomefordisease-suppressivebacteria.*BMC Microbiology*,10 (1):94.
- [11] Liu,Y.,Zhang,X.,Wang,J.,etal.(2024).Effects of Long-Term Organic and Inorganic Fertilizationon Soil Microbial Community Structure and Nutrient Cycling in a Wheat-MaizeRotation System.*Agronomy*,14 (4):756.
- [12] Lazarovits,G.(2011).Soilhealthandtheeffectoforganicamendmentsondiseasesuppressiveness.*Canadian Journal of Plant Pathology*,33 (2):230-244.
- [13] Chen,H.,Li,W.,Zhang,H.,etal.(2021).LifeCycleAssessmentofCompostApplicationinAgriculturalSystems:A Review.*Sustainability*,13 (3):1212.
- [14] SÁNCHEZ A, ARTOLA A, FONT X, et al. Greenhouse gas emissions from organic waste composting [J]. *Environmental Chemistry Letters*, 2015, 13 (3): 223–38.
- [15] ADHIKARI B K, TRÉMIER A, BARRINGTON S, et al. Gas emissions as influenced by home composting system configuration [J]. *Journal of Environmental Management*, 2013, 116: 163–71.
- [16] GłȃB T. Water Retention and Repellency of a Sandy Soil Amended with Municipal Compost [J]. *Compost Science & Utilization*, 2014, 22 (2): 47–56.
- [17] ANDERSEN J K, BOLDRIN A, CHRISTENSEN T H, et al. Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste [J]. *Waste Management*, 2010, 30 (12): 2475–82.

- [18] SAER A, LANSING S, DAVITT N H, et al. Life cycle assessment of a food waste composting system: environmental impact hotspots [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 52: 234–44.
- [19] YANG G, ZHANG Q, ZHAO Z, et al. How does the “Zero-waste City” strategy contribute to carbon footprint reduction in China? [J]. *Waste Management*, 2023, 156: 227–35.
- [20] 陈舜, 逯非, 王效科. 中国氮磷钾肥制造温室气体排放系数的估算 [J]. *生态学报*, 2015, 35 (19): 6371–83.
- [21] 侯会静, 韩正砥, 杨雅琴, 等. 生物有机肥的应用及其农田环境效应研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2019, 35 (14): 82–8.
- [22] 李丰杰, 周丕生, 李跃忠. 不同用量厨余垃圾堆肥对土壤理化性质的影响 [J]. *上海交通大学学报 (农业科学版)*, 2016, 34 (05): 92–8.
- [23] 王成. 堆肥过程  $N_2O$  减排控制与木质纤维素降解微生物学机理研究 [D]; 浙江大学, 2014.
- [24] 杨帆, 欧阳喜辉, 李国学, 等. 膨松剂对厨余垃圾堆肥  $CH_4$ 、 $N_2O$  和  $NH_3$  排放的影响 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29 (18): 226–33.
- [25] 杨帆. 生活垃圾堆肥过程污染气体减排与管理的生命周期评价研究 [D]; 中国农业大学, 2014.
- [26] 张久明, 匡恩俊, 刘亦丹, 等. 有机肥替代不同比例化肥对土壤有机碳组分的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2021, 41 (12): 1534–40.
- [27] 张学良. 绿肥还田对果园土壤碳周转的影响 [D]; 西南大学, 2021.
- [28] CHERUBINI F, BARGIGLI S, ULGIATI S. Life cycle assessment of urban waste management: Energy performances and environmental impacts. The case of Rome, Italy [J]. *Waste Management*, 2008, 28 (12): 2552–64.
- [29] HONG J, LI X, ZHAO JIE C. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China [J]. *Waste Management*, 2010, 30 (11): 2362–9.
- [30] CHERUBINI F, BARGIGLI S, ULGIATI S. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration [J]. *Energy*, 2009, 34 (12): 2116–23.
- [31] MAHMOUDKHANI R, VALIZADEH B, KHASTOO H. Greenhouse Gases Life Cycle Assessment (GHGLCA) as a decision support tool for municipal solid waste management in Iran [J]. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2014, 12 (1): 71.
- [32] LIU Y, SUN W, LIU J. Greenhouse gas emissions from different municipal solid waste management scenarios in China: Based on carbon and energy flow analysis [J]. *Waste Management*, 2017, 68: 653–61.
- [33] ÁLVAREZ-ALONSO C, PÉREZ-MURCIA M D, SÁNCHEZ-MÉNDEZ S, et al. Municipal Solid Waste Management in a Decentralized Composting Scenario: Assessment of the Process Reproducibility and Quality of the Obtained Composts [J/OL] 2024, 14 (1):10.3390/agronomy14010054
- [34] LIU F, XIN L, TANG H, et al. Regionalized life-cycle monetization can support the transition to sustainable rural food waste management in China [J]. *Nature Food*, 2023, 4 (9): 797–809.

- [35] HAQUE F, FAN C, LEE Y-Y. From waste to value: Addressing the relevance of waste recovery to agricultural sector in line with circular economy [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 415: 137873.
- [36] XUE L, LIU X, LU S, et al. China's food loss and waste embodies increasing environmental impacts [J]. *Nature Food*, 2021, 2 (7): 519–28.
- [37] SOERGEL B, KRIEGLER E, WEINDL I, et al. A sustainable development pathway for climate action within the UN 2030 Agenda [J]. *Nature Climate Change*, 2021, 11 (8): 656–64.
- [38] GÓMEZ-SANABRIA A, KIESEWETTER G, KLIMONT Z, et al. Potential for future reductions of global GHG and air pollutants from circular waste management systems [J]. *Nature Communications*, 2022, 13 (1): 106.
- [39] MATHEWS J A, TAN H. Circular economy: Lessons from China [J]. *Nature*, 2016, 531 (7595): 440–2.
- [40] HOY Z X, WOON K S, CHIN W C, et al. Curbing global solid waste emissions toward net-zero warming futures [J]. *Science*, 2023, 382 (6672): 797–800.
- [41] PACE S A, YAZDANI R, KENDALL A, et al. Impact of organic waste composition on life cycle energy production, global warming and Water use for treatment by anaerobic digestion followed by composting [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 137: 126–35.
- [42] NORDAHL S L, PREBLE C V, KIRCHSTETTER T W, et al. Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting [J]. *Environmental Science & Technology*, 2023, 57 (6): 2235–47.
- [43] 蒋建国, 耿树标, 罗维, 等. 2020 年中国垃圾分类背景下厨余垃圾处理热点回眸 [J]. *科技导报*, 2021, 39 (01): 261–76.
- [44] KIM A, MUTEL C L, FROEMELT A, et al. Global Sensitivity Analysis of Background Life Cycle Inventories [J]. *Environmental Science & Technology*, 2022, 56 (9): 5874–85.
- [45] ALBIZZATI P F, TONINI D, ASTRUP T F. A Quantitative Sustainability Assessment of Food Waste Management in the European Union [J]. *Environmental Science & Technology*, 2021, 55 (23): 16099–109.
- [46] ZHAO Y, CHANG H, LIU X, et al. Climate Change Impact of the Development in Household Waste Management in China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2022, 56 (12): 8993–9002.
- [47] ZHU L, LIU L, TAN C, et al. Sustainable decentralized food waste composting using a pulse alternating ventilation pilot-scale device: Case study based on LCA and LCC analysis [J]. *Bioresource Technology*, 2025, 419: 132078.
- [48] WANG Y, YING H, STEFANOVSKI D, et al. Food waste used as a resource can reduce climate and resource burdens in agrifood systems [J]. *Nature Food*, 2025, 6 (5): 478–90.
- [49] XUE Y, MORENO J M, LI C, et al. Growing community-based composting programs in China: Implementation and policy lessons from eight cases [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2025, 212: 107882.



# 致谢

本报告编写发布离不开各方的关心与支持。在此谨向万科公益基金会的资金支持表示衷心感谢。感谢社区厨余堆肥平台发起方—万科公益基金会、南京大学（溧水）生态环境研究院在平台发展壮大和社区堆肥落地推广过程中的大力支持。感谢社区厨余堆肥平台所有伙伴的积极配合与支持。特别感谢中国科学院生态环境研究中心周传斌研究员、南京农业大学李长军副教授、北京市石景山区阿牛公益发展中心唐莹莹老师、南京大学助理研究员程明今、成都市乐芙公益服务中心刘倩老师、万科公益基金会连娟老师、南京大学（溧水）生态环境研究院王芳老师的指导与帮助。

我国社区堆肥的每一步推进与落地，都离不开始终致力于社区堆肥推广推动工作的所有伙伴：无论是提供专业技术指导的团队，为社区堆肥筑牢技术根基；还是给予资源保障的机构，为社区堆肥推进扫清物资障碍；亦或是贡献宝贵实践经验的行业同仁，为落地实践优化提供参考——你们以专业素养、热忱态度与责任担当，为破解社区堆肥的技术管理难题、提升环境资源效益、探索可持续运营路径注入了关键动力，让“变废为宝”的堆肥理念，逐步转化为看得见、摸得着的实际行动。在此，我们向每一份为社区堆肥工作付出的力量，致以最诚挚的感谢。

更要感谢每一个落地社区的居民与工作者：是你们主动参与源头垃圾分类，包容社区堆肥前期推进中的摸索与探索，用点滴行动践行绿色环保理念，让社区堆肥真正变为服务社区、改善环境的生动实践，奠定了坚实的群众基础。

未来，期待我们继续携手同行，让社区堆肥的生态价值、社会价值持续释放，共同守护更清洁、更美好的生活环境，助力“无废城市”建设、“双碳”目标实现和“美丽中国”建设走得更稳、更远。

## 关于社区厨余堆肥平台

自 2018 年启动社区厨余堆肥试点项目以来，在南京大学（溧水）生态环境研究院与万科公益基金会的联合推动下，已发展成为覆盖城市、乡村、校园、海岛等多元场景的全国性社区堆肥平台，累计培育 108 个创新实践样本，为基层社区开展低碳建设、发展循环经济探索出中国路径。平台不仅牵头发布了《厨余堆肥产物》和《社区堆肥技术要求》团体标准，完成从技术探索到标准制定的跨越，推动行业规范化发展，还通过 COP29 等国际舞台分享中国经验，为全国乃至全球提供了基于自然、立足社区、低成本的有机垃圾在地资源化模式和气候解决方案。

CCCP 社区厨余堆肥平台官网：<https://composting.org.cn/>



扫码关注平台微信公众号



扫码关注平台官网

## 关于南京大学（溧水）生态环境研究院

南京大学（溧水）生态环境研究院（以下简称研究院）是南京大学与南京市溧水区人民政府共同举办的独立法人事业单位。2021 年研究院获批成为国家自然科学基金依托单位，创办有国际期刊 *Resources, Environment and Sustainability*，建有固体废弃物资源化国家工程研究中心有机固废资源化分中心、江苏省固体废弃物资源化工程研究中心、江苏省研究生工作站、南京市生物质定向转化重点实验室、南京市物质循环与资源环境工程研究中心等科研平台。研究院研发的有机固废生物协同转化与高值利用技术成果入选国家“十四五”“无废城市”建设先进

适用技术目录和江苏省重点推广应用的新技术新产品目录，团队依托该技术牵头申请并获批国家重点研发计划“循环经济关键技术与装备”重点专项项目和江苏省环保科研成果转化与推广项目支持，2025 年牵头发起“5B Initiative”国际研究计划，吸引了英国爱丁堡大学、法国洛林大学、荷兰格罗宁根大学、俄罗斯南联邦大学、西班牙巴塞罗那自由大学等 13 个国家的 16 支团队参加。



扫码关注研究院微信公众号

## 关于万科公益基金会

万科公益基金会是 2008 年经民政部、国务院批准成立的全国性非公募基金会，由民政部主管。作为具有官方认证资质的公益组织，基金会于 2017 年被认定为慈善组织，并于 2021 年底通过民政部专业评估，获评 4A 级全国性社会组织。在新的五年战略规划（2023—2027 年）框架下，万科公益基金会以“美美与共的未来家园”为愿景，实践和传播可持续社区理念。基金会当前聚焦碳中和社区先行探索与推广、社区废弃物管理瓶颈突破、中国气候故事讲述三大重点战略模块开展工作。





南京大学（溧水）生态环境研究院  
Lishui Institute of Ecology and Environment, Nanjing University



万科公益基金会  
VANKE FOUNDATION

# 社区堆肥 低碳未来

出品方：社区厨余堆肥平台

指导单位：南京大学（溧水）生态环境研究院

支持单位：万科公益基金会