



村镇垃圾治理典型案例及问题分析

崔广宇, 吕凡, 章骅, 邵立明, 何晶晶

引用本文:

崔广宇, 吕凡, 章骅, 邵立明, 何晶晶. 村镇垃圾治理典型案例及问题分析[J]. *农业资源与环境学报*, 2022, 39(2): 337-345.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0070>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

杭州市农村生活垃圾治理实践及问题对策研究

屠翰, 华永新, 徐钢, 虞益江, 陈艳

农业资源与环境学报. 2018, 35(3): 251-256 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0024>

农户参与对农村生活垃圾分类处理效果的影响

许骞骞, 王成军, 张书赫

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 223-231 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0142>

关于“十四五”农村生活污水治理的思考

贾小梅, 于奇, 王文懿, 赵芳, 董旭辉

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 623-626 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0133>

接种率及尿素添加量对农村生活垃圾厌氧发酵产甲烷的影响

罗臣乾, 王星, 张国治, 魏珞宇, 施国中, 张敏

农业资源与环境学报. 2017, 34(2): 168-174 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0222>

城乡有机废弃物资源化利用现状及展望

李龙涛, 李万明, 孙继民, 褚飞, 饶中秀, 黄凤球

农业资源与环境学报. 2019, 36(3): 264-271 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0150>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

崔广宇, 吕凡, 章骅, 等. 村镇垃圾治理典型案例及问题分析[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 337-345.

CUI G Y, LÜ F, ZHANG H, et al. Rural waste management: Illustrative cases and problem analysis[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(2): 337-345.



开放科学 OSID

村镇垃圾治理典型案例及问题分析

崔广宇^{1,2,3}, 吕凡^{1,2,3}, 章骅^{1,2,3}, 邵立明^{1,2,3}, 何品晶^{1,2,3*}

(1. 同济大学固体废物处理与资源化研究所, 上海 200092; 2. 上海污染控制与生态安全研究院, 上海 200092; 3. 上海多源固废协同处理和能源化工程技术研究中心, 上海 200092)

摘要: 垃圾治理是农村人居环境整治的重要组成部分。当前各地农村围绕垃圾分类、收运及处理处置开展了众多实践尝试。为及时、深入地理解村镇垃圾的治理现状, 本文基于2021年村镇垃圾治理实用技术与实践案例征集活动的结果, 对比分析了应征案例的指标达成状况, 系统梳理了村镇垃圾的分类收运、资源化利用及热处理三类典型案例的特点和存在的问题, 旨在为我国村镇垃圾治理工作的高效推进提供参考。就分类收运而言, “五网协同”、“一户一码”、第三方运营等管理机制方面的创新对村镇垃圾治理的高效推进具有重要作用, 同时也存在目标效果缺乏数据支撑、案例覆盖人口数量少及案例可推广性有待验证等问题。资源化处理方面, 升级版的阳光房堆肥技术及模式运行成本较低, 操作相对简便, 可推广性强; 虽然厨余(易腐)垃圾机械制肥推广应用较多, 具有一定的适用性, 但其运行成本高, 且部分运行时间较短的工艺无法满足产物腐熟的要求。易腐垃圾昆虫生物转化技术的减量化和资源化水平较高, 有较好的规模化推广应用前景。此外, 大部分村镇生活垃圾热处理案例存在运行不稳定及污染物排放不达标等问题, 因此应加强原料控制、热解(焚烧)过程优化等方面的科学研究和实践应用。

关键词: 农村生活垃圾; 易腐垃圾; 垃圾治理; 蝇蛆; 黑水虻; 有机肥料; 典型案例

中图分类号: X799.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2022)02-0337-09

doi: 10.13254/j.jare.2022.0070

Rural waste management: Illustrative cases and problem analysis

CUI Guangyu^{1,2,3}, LÜ Fan^{1,2,3}, ZHANG Hua^{1,2,3}, SHAO Liming^{1,2,3}, HE Pinjing^{1,2,3*}

(1. Institute of Waste Treatment and Reclamation, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Institute of Pollution Control and Ecological Security, Shanghai 200092, China; 3. Shanghai Engineering Research Center of Multi-source Solid Wastes Co-processing and Energy Utilization, Shanghai 200092, China)

Abstract: Waste management is an important part of agricultural and rural environmental remediation. At present, many practical attempts have been carried out in rural areas regarding sorting, collection, transportation and treatment and disposal. It is necessary to timely and in-depth understand the current situation of waste management in rural and town areas. The study systemically summaries the characteristics and existing problems of three illustrative cases, including separation, collection and transportation, resource utilization as well as thermophilic treatment of rural and town wastes through comparative analysis of the achievement status of the index of illustrative cases. These cases are from collection activities of practical technology and illustrative case of the 2021 rural waste management. The study is expected to provide a reference for the efficient promotion of waste treatment in rural and town areas in China. For sorting-transportation of rural waste, innovative management mechanisms such as “five-nets collaboration”, “one home one code”, and “third-part operation” play important roles in promoting rural waste management. However, there are some issues including no data support for targets effects, less population involved in cases as well as generalizability of the cases, which requires to be addressed. As for cases of resource utilization, upgraded aerobic composting for the treatment of rural waste is characterized by cost-effective, readily operation and good generalizability. Although mechanical composting for the treatment of putrescible (food) waste is widely applied due to highly efficient of waste reduction, it

收稿日期: 2022-02-17 录用日期: 2022-03-01

作者简介: 崔广宇(1986—), 男, 陕西西安人, 博士, 博士后研究人员, 研究方向为有机固体废物生物处理与资源化利用。E-mail: cuigy@tongji.edu.cn

*通信作者: 何品晶 E-mail: solidwaste@tongji.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD1100600)

Project supported: The National Key Research & Development Program of China(2018YFD1100600)

is costly and low quality of final residues due to short solid retention time in some cases. Bioconversion of food waste via housefly larvae by using a series of intelligent equipment and facility is a promising approach since significant waste reduction rate and resource utilization extent has been verified. In addition, most cases of heat treatment of rural waste have problems such as unstable operation and pollutant discharge not up to standard. Therefore, research and practice on raw material control and pyrolysis (incineration) process optimization need to be strengthened.

Keywords: rural solid waste; biodegradable waste; waste management; housefly larvae; black soldier fly; organic fertilizer; illustrative case

随着我国经济的快速发展,农村地区的垃圾治理不规范以及环境污染问题越来越突出。依照美丽乡村建设总目标,近年来多部委就农村垃圾治理工作发布重要文件,从健全生活垃圾收运处置体系、推进生活垃圾分类减量与利用、加强农村固废协同资源化利用等方面作出重要部署并提出方法指导。我国农村垃圾治理工作正从“有没有”迈向“好不好”阶段,而垃圾分类、收运及处理处置等关键环节的技术,应以适应性强、技术可行、成本适宜、社会环境效益好为原则,因地制宜、统筹开展,并不断优化^[1-4]。

我国农村幅员辽阔,经济、气候、地形条件、劳动力因素不均衡,垃圾特性与城市存在较大差别^[5-7]。相对城市生活垃圾,农村垃圾的产量小($0.7\sim 1.1\text{ kg}\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)且分散。农村生活垃圾以灰渣、厨余为主,而城市生活垃圾中厨余、可回收物更常见。由此造成农村的生活垃圾收运、处理处置具有鲜明特征。因此,不能单纯照搬或模仿城市垃圾的治理模式^[8-10]。为了及时了解现阶段农村垃圾治理工作的推进状况,2021年中国城市环境卫生协会村镇垃圾治理专业委员会组织开展了村镇垃圾治理实用技术与实践案例征集活动。本文基于该活动征集结果,根据技术的适用性、先进性及经济、环境效益,案例的适用性/典型性及经济、社会、环境效益的指标得分状况,深入分析了村镇垃圾分类、收运和处理处置的特点及存在的问题,旨

在为我国村镇垃圾治理工作的推进提供借鉴和参考。

1 村镇垃圾治理典型案例基本情况

所征集到的技术/案例来自全国各地20个不同的单位。根据提交材料的完整性及内容的相关性,筛选出符合条件的18个技术/案例,由行业专家通讯评审。应征技术和案例除了要求适用性、经济效益、社会效益及环境效益指标外,同时,还分别要求创新性(先进性)和典型性,并且赋予更高的分值权重。

这些案例(图1)中,属于生活垃圾分类收运类的技术/案例共有6个,来自江苏(3例)、山东、内蒙古和四川4个省份;厨余(易腐)垃圾生物资源化处理类技术/案例共有9个,来自浙江(5例)、江苏(2例)、甘肃和上海4个省份,其中好氧发酵工艺7例,另2例为虫体(蝇蛆)养殖和水解液化;生活垃圾处置类技术/案例有3个,位于云南、广东、安徽3个省份,均属热处理工艺。由此可以看出,应征案例以江浙地区居多(占10/18),主要与这些地区近年来农村人居环境整治力度大、成效显著密不可分^[11]。

2 实用技术与实践案例的指标达成状况

为了更直观地了解这些技术/案例的各项指标达成情况,对评审结果进行了梳理,结果见图2、图3和图4。

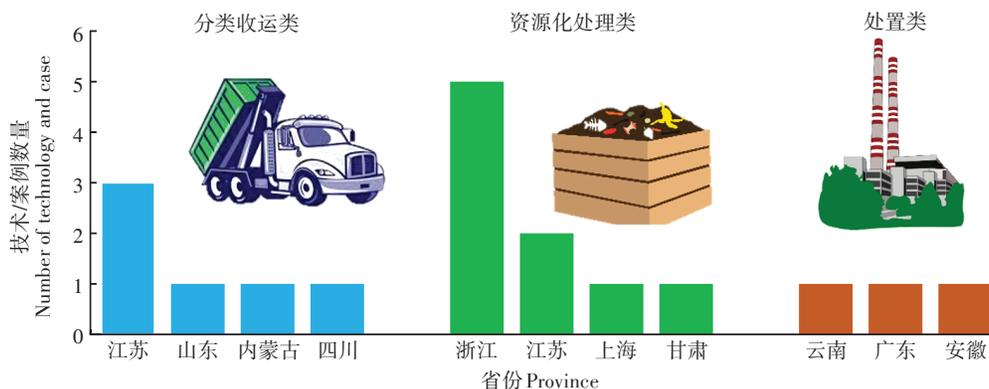


图1 不同类型技术/案例的区域分布

Figure 1 Region distribution of different technologies and illustrative cases

就分类收运类(图2)而言,有2个案例(来自山东和江苏)的所有指标(典型性/适用性、经济效益、社会效益及环境效益)均得分较高,而其他4个案例有2项或2项以上指标得分较低,特别是适用性/典型性、经济效益指标的平均得分较低,说明案例的应用成本相对较高或经济效益不佳,可推广性较差,不具有代表性。

对资源化处理类技术/案例(图3)来说,按照指标的得分情况,村镇多源有机固废好氧生化处理(浙江)、农村易腐垃圾快速腐殖化处理(浙江)、城乡有机废弃物资源化处理(江苏)、餐厨垃圾资源化处理(上海)和有机废弃物生物昆虫转化(江苏)各项指标得分较高,因而被优先推荐为实用技术(村镇厨余垃圾资源化处理(上海)除外)和实践案例。村镇厨余垃圾机器成肥(浙江)、易腐垃圾就地资源化处理(浙江)、易腐垃圾原位减量机器成肥(浙江)、农牧和旅游区餐厨垃圾资源化处理(甘肃)4个技术/案例则因适用性(典型性)、先进性、经济效益和环境效益中多个指标得分较低而未被推荐。对比发现,未被推荐的技术和案例主要集中于易腐垃圾的机器成肥类,一方面可能是因为其技术还不够成熟,这也可由最近的研究结果证实^[12],另一方面可能与其技术的应用成本较高有关^[6]。

如图4所示,在热处理类技术中,采用气炭互补

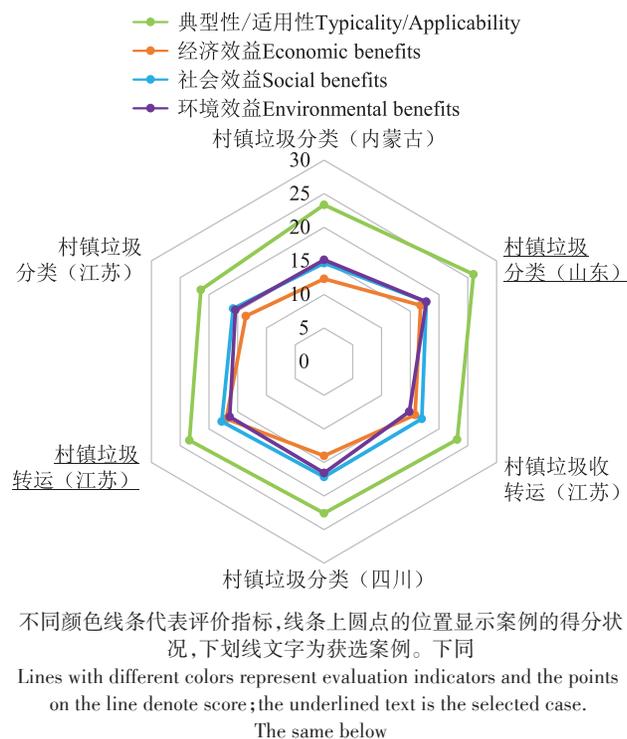


图2 村镇垃圾分类、收运实践案例指标得分状况

Figure 2 Scores of evaluation indicators for illustrative cases of rural wastes separation, collection and transportation

式炭化燃烧技术的案例(安徽),虽然因应用案例较少及缺少环境监测报告而未被推荐,但技术的先进性、适用性、经济效益、社会效益指标均具有较高得分,说明这种技术/案例有一定的参考价值。其余两个案例的各项得分因普遍较低,均未被推荐,表明通过焚烧热解处置村镇生活垃圾目前存在诸多方面的问题,尤其应加强其技术方面的研究。

3 技术/案例的综合评价

上文从指标得分方面对技术/案例进行了初步分析,为了更加明确各自的优缺点,分别整合了3类案例的特征性信息,包含特征归类、关键词、优点以及缺

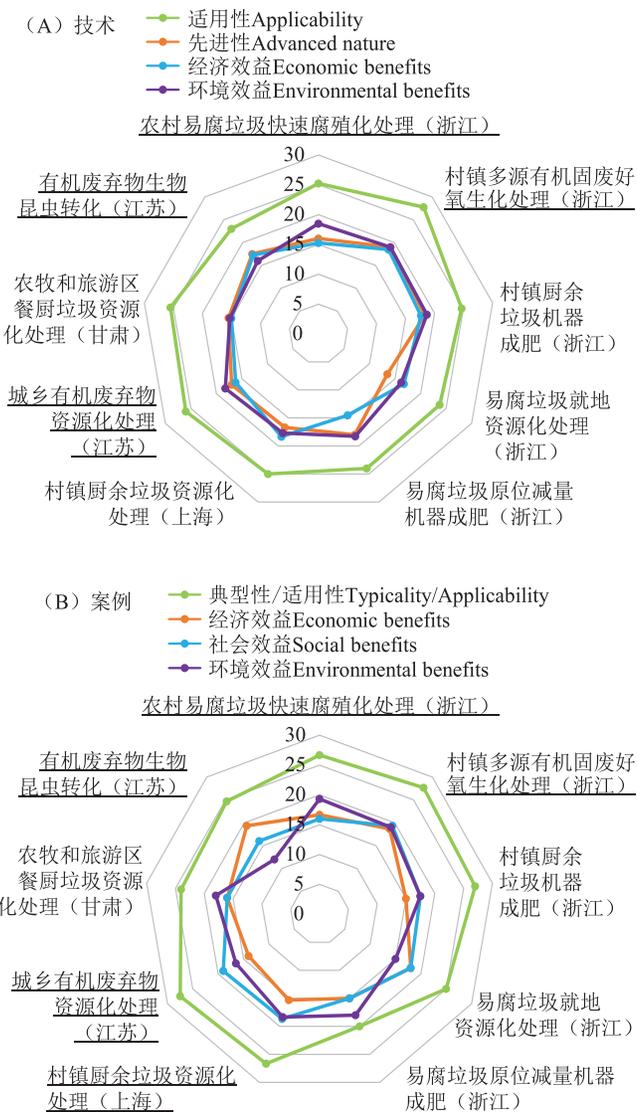


图3 厨余(易腐)垃圾生物资源化处理技术与案例指标得分状况

Figure 3 Evaluation index scores for technologies and illustrative cases of biological treatment of rural putrescible wastes

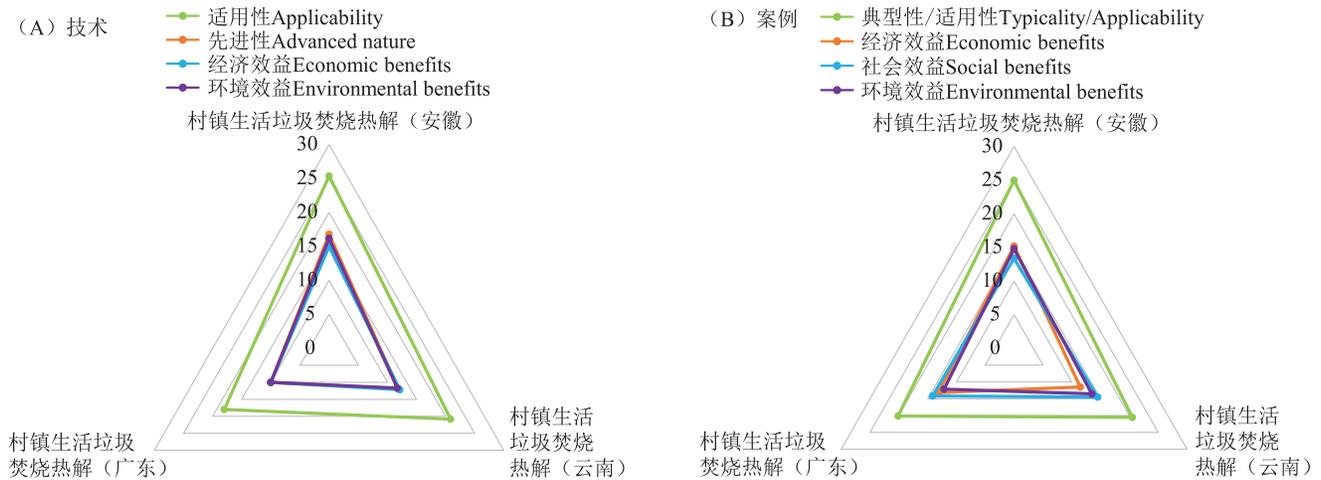


图4 村镇生活垃圾热处理技术与案例指标达成状况

Figure 4 Evaluation index scores for technologies and illustrative cases of thermal treatment of rural wastes

点4个方面。

3.1 分类收运案例

分类收运案例(表1)中,除定位为设备升级改造类的2个案例外,其他4个案例均属机制创新类,如基于第三方管理的“五网协同”体系,城乡统筹层面的垃圾分类“4+1”模式,定时定点模式及“一户一码”管理方式等。具体而言,村镇垃圾分类(江苏)的案例中所提的“五网协同”方式在农村地区具有可行性,能够实现集约化,且由第三方运营,被认为是一种重要的农村垃圾治理的管理模式。然而,其示范点覆盖人数较少(仅两个村),且缺少成本及两个3E(低成本、易操作、易维护;环境、资源、经济)目标效果方面的数据。

类似地,村镇垃圾分类(内蒙古)案例中,定时定点模式下,分类指导、入户收集、积分兑换等形式培养了村民良好的习惯;同时,采取了车对车收运模式以及设置回收物暂存区等能够提高收运效率,但也缺乏就地减量及资源化方法、工艺和费用成本等数据。另外一个比较有特色的村镇垃圾分类案例位于四川的农村,采用的是“一户一码”制度,利用大数据实施全程监管,既能够降低运营成本,还可以对垃圾源头减量及习惯养成等起到一定的示范作用。然而,该案例还存在覆盖人数较少且其他垃圾投放收集要求等具体操作不明确的问题。在村镇垃圾收转运(江苏)案例中,升级改造后的中转站整体上与城市的模式区别不大,

表1 村镇垃圾分类收运案例比较

Table 1 Comparison of technologies and illustrative cases of rural waste sorting, collection and transportation

案例(地区) Case(Region)	特征归类 Classification	关键词 Keyword	优点 Advantage	缺点 Disadvantage
村镇垃圾分类(江苏)	机制创新类	五网协同	提出“五网协同”概念;第三方运营;“五网协同”方式在农村地区具有可行性;“五网协同”可实现集约化	示范点少;经济、社会及环境效益目标效果缺乏数据支撑
村镇垃圾分类(内蒙古)	机制创新类	定时定点;上门收集;积分兑换	服务人口、服务区域有代表性;定时定点模式,分类指导、入户收集、积分兑换等形式培养习惯;车对车收运模式,设置暂存区等方式提高运输效率	第三方运营模式总结不系统,缺乏就地减量和资源化方法、工艺及费用成本等翔实数据;采用的源头分类和转运方法较常规
村镇垃圾分类(山东)	机制创新类	城乡统筹;全域覆盖	适合的垃圾分类“4+1”模式,区域全覆盖,城乡统筹,较为完善的硬件设施;发动群众和依靠基层组织的垃圾分类组织模式,全流程管理体系;3E目标成效显著,具有代表性和示范作用	分类监管需大量志愿者;与国家标准要求不一致,推广仍有待验证
村镇垃圾收转运(江苏)	设施设备升级改造类	第三方市场化运营	有代表性;综合效益显著;收运成本低	采用的技术方案与城市相差不大,不完全适用于乡村;改造后的转运站开放度较高,对周边环境有影响
村镇垃圾分类(四川)	机制创新类	一户一码	垃圾分类智慧模式,特色突出;低成本易操作,全流程体系且智能监控;对垃圾源头减量、习惯养成以及全生命周期规范管理起到一定的示范作用	案例应用覆盖人口数量少,经济效益分析不合理;其他垃圾如何投放、收集及可回收价值不同如何积分等具体运行操作不清楚
村镇垃圾转运(江苏)	升级改造类	中转站;环卫综合体	乡村生活垃圾中转设施建设具有一定的特色;大型化、分类式模式,提升运营管理水平及异味的处理能力,达到集约高效的目的;3E目标成效显著	渗滤液外运处置增加了成本及污染的可能性

技术先进,但不完全适合农村的情况,并且设施的开放度较高,异味处理设施难以见效,有可能影响周边环境。诚然,这些村镇垃圾分类和转运的案例中所尝试的新管理模式对垃圾分类推进具有重要贡献,但在模式总结及3E目标达成情况等方面还需要不断总结和积累数据,同时也应该不断扩大示范应用点。

在被推荐的案例中,山东某县级市实施了城乡统筹、区域全覆盖的垃圾分类模式,充分发动群众和依靠基层组织,利用全流程监管体系,是一种典型的机制创新类案例(图5A)。尽管所应用的垃圾分类标准与住房和城乡建设部《生活垃圾分类标志》(GB/T 19095—2019)不一致,但3E目标成效显著,具有代表性和示范作用。此外,来自江苏的转运设施升级改造案例(图5B)应用大型化、分类式的建设模式,显著提高了运营管理水平和异味处理能力,集约程度高,3E目标效果显著,有望成为村镇垃圾转运站的主流。

3.2 资源化处理类技术/案例

资源化处理类技术/案例分析见表2。依据所采用技术的不同,可分为阳光房静态好氧堆肥、机械生物制肥及昆虫生物转化三类。

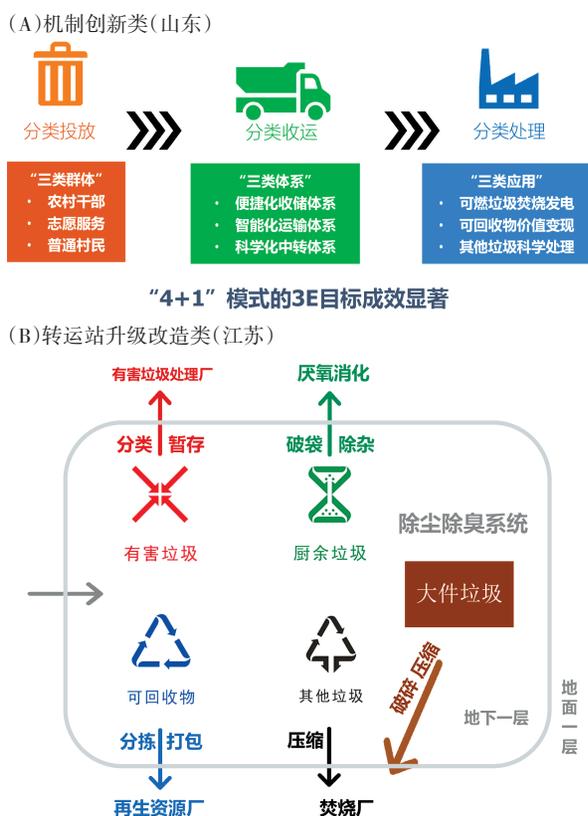


图5 村镇垃圾分类收运典型案例

Figure 5 Illustrative cases for sorting, collection and transportation of rural wastes

以阳光房静态好氧堆肥为例,位于浙江象山的村镇多源有机固废好氧生化处理案例所应用的县域统筹推进机制及镇级堆肥设施实用技术具有良好的示范意义。如图6A所示,通过专用的分拣-破碎-挤压一体机对物料进行预处理,实现易腐垃圾除杂、水分脱除与物料破碎均质;采用“三明治”式的发酵仓填充方式,通过仓底部和顶部的通风管,强化堆体自然通风,提高产物的腐熟速度。该案例是一种处理成本相对较低、操作简便、二次污染控制水平高的新一代阳光房堆肥技术,可为村镇多源有机固废(如家庭厨余垃圾、农业秸秆、园林绿化废物等)处理提供一种新模式。另一个阳光房堆肥案例同样位于浙江,是一种多村联建的模式,通过在堆体中接种微生物、实施温湿度控制不同阶段的通风和除湿策略,可加速废弃物的腐殖化过程;渗滤液和臭气等二次污染控制单元技术先进,环境效益好。目前该项目已实际稳定运行了2年,堆肥产物品质达到农业部门《有机肥料》(NY525—2021)等相关标准。虽然建设投资相对较高,多通道控制技术较为复杂,操作难度较大,但运行成本低,规模效益好,总体处理成本良好。

机械生物制肥案例主要是通过接种功能微生物来强化高温堆肥,此方法具有操作简便的特点,但堆肥环境难以控制,且技术难度大、成肥时间不明确,虽然降低了含水率,杀灭了病原菌和虫卵,但腐熟度普遍较低,难以达到农用有机肥的要求^[6,12]和《生物质废物堆肥污染控制技术规范(征求意见稿)》(环办标征函[2021]32号)的要求。事实上,如果要达到有机肥品质的标准,机器成肥后的产物还需要进行二次腐化(至少7 d以上,甚至更长)^[12]。另外,有案例采用纳米光催化等技术手段控制废气,但其工艺复杂、投资运行成本较高,操作难度大,在农村地区(特别是经济欠发达地区)推广应用有一定困难。在农牧和旅游区采用低温快速发酵工艺处理餐厨废弃物,并未充分考虑农牧结合以及垃圾产生量波动大可能带来的运行不稳定的问题,还需针对性地研发或选择集成技术。运行成本中除了较高的电耗外,菌剂附加费用以及菌剂的生物安全性也是相对较敏感的方面。

较成功的机械生物制肥案例应用效果良好,如上海郊区某镇应用集磁选、破碎与挤压脱水于一体的一体化设备,对厨余垃圾进行预处理,再通过搅拌式微生物菌剂复合好氧发酵设备对物料进行停留时间约3 d的一次生物发酵,实现水分的快速降低和有机质的初步降解;之后,利用滚筒式发酵设备对物料二次

表2 村镇易腐(厨余)垃圾资源化利用技术/案例比较

Table 2 Comparison of technologies and illustrative cases of rural waste resource utilization

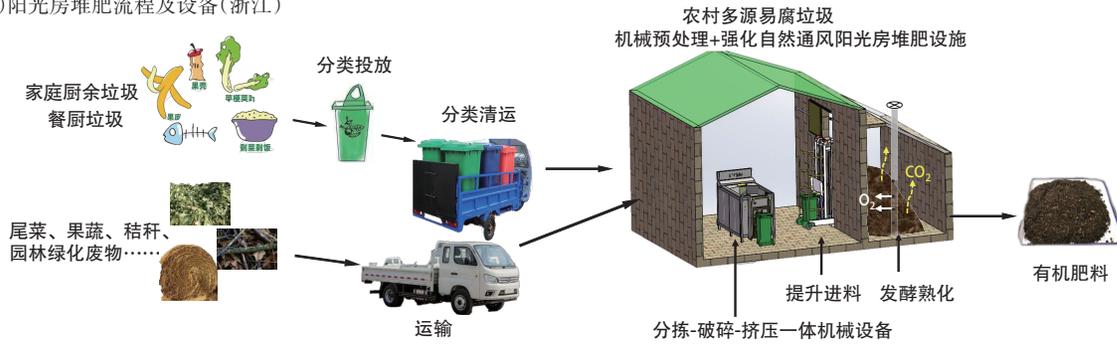
技术/案例(地区) Technology/case (Region)	特征归类 Classification	关键词 Keyword	优点 Advantage	缺点 Disadvantage
农村易腐垃圾快速腐殖化处理(浙江)	好氧堆肥	多村联建;通道风场;快速腐殖化	通过微生物接种,温湿度控制不同堆肥阶段的通风和除湿策略,加快腐殖化速度;渗滤液与臭气二次污染控制技术先进;运行成本低,规模效益好;堆肥产品质量达到相关标准	建设投资较大,多通道的控制技术较为复杂,操作难度较大
村镇多源有机固废好氧生化处理(浙江)	阳光房堆肥	机械预处理耦合强化自然通风;创新堆填方式	县域统筹推进机制及镇级堆肥设施实用技术具有良好的示范意义;温差强制自然通风、多仓组合、一体化设备等技术装备投资少、运行费用低、操作简便,便于推广应用;适用于垃圾来源复杂、波动大、劳动力素质相对不高、处理产物就地利用便捷的农村地区	
村镇厨余垃圾机械成肥(浙江)	机械化生物好氧制肥	一次发酵+二次腐熟	技术工艺设备成熟,二次污染控制较好	工艺较复杂;投资与运行成本较高,操作技术要求高,在农村地区(经济欠发达)推广应用有一定的困难
易腐垃圾就地资源化处理(浙江)	机械化生物好氧堆肥	高温好氧发酵复合菌剂	技术操作简便、投资少、运行费用低,可在人口分散的偏远地区推广应用	堆肥环境难以控制;技术难度大;发酵时间不明确
易腐垃圾原位减量机器成肥(浙江)	微生物强化高温腐熟	非膜法处理;纳米光催化	技术水平较高;可有效处理易腐垃圾,具有良好的社会效益	技术工艺复杂,投资、运行成本高,在经济欠发达地区推广应用有一定难度;产品质量和污水排放是否稳定达标有待验证
村镇厨余垃圾资源化处理(上海)	机械化好氧发酵	搅拌式反应器;达标纳管	自动化程度高、操作方便,废水处理后排管排放	示范工程运行时间较短
城乡有机废弃物处理资源化利用(江苏)	生物干化+好氧发酵	生物干化;液体肥	运行成本低,规模效益好;臭气污染控制较好;可建立集中处理工程,技术可控,适应性强	建设投资相对较大,由废液制成的液体肥品质需验证
农牧和旅游区餐厨垃圾资源化处理(甘肃)	微生物菌种+快速仓式堆肥	农牧旅游区;低温快速发酵	废水采用人工湿地处理,环境效益较好;建设及运行费用较低	未充分考虑农牧结合以及垃圾产生量波动大的特点有针对性地研发或进行技术集成;运行情况需继续验证
有机废弃物生物昆虫转化(江苏)	蝇蛆生物转化	智能化养殖系统	自动化与规模化水平相对较高;废气可有效控制,环境效益较好;无污水排放,可实现垃圾梯级利用	运行情况需继续验证

发酵 15 d, 确保产物性质稳定, 达到农用有机肥料标准; 同时, 通过喷淋塔-活性炭协同处理在预处理、一次发酵和二次发酵过程中产生的臭气, 采用活性污泥法处理厂区内的废水, 达标后纳管排放(图 6B)。目前, 该站点每日处理 10 t 厨余垃圾, 产生 1.5 t 含水率为 30% 的有机肥; 整个运行过程自动化程度高、操作简便, 处理成本约 180 元·t⁻¹, 有望在经济较发达的村镇地区推广应用。另一个是位于江苏的城乡有机废弃物资源化案例, 采用生物干化+好氧堆肥耦合工艺(图 6C), 可协同处理厨余垃圾、农林秸秆、畜禽粪便等多种有机废弃物。该技术基于不同废弃物的特性差异进行物料碳氮比及水分的调配, 再接种复合功能微生物菌剂, 经密闭式生物干化设备降低物料水分, 以及好氧生物发酵设备使产物达到腐熟。虽然建设投资较高, 但产物有机肥和液体肥(液体肥品质还需进一步验证)可以覆盖这部分成本, 体现出较好的经济效益; 而集中式的臭气控制系统, 也避免了环境污

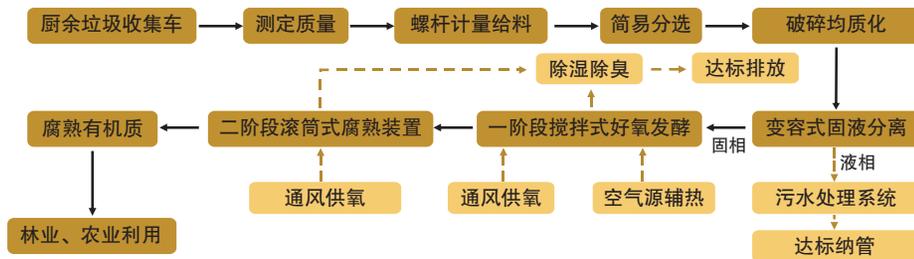
染等问题。因此, 该类技术总体上技术可控, 适应性较强。

作为一种温室气体低排放技术, 采用微型动物(如蝇蛆)来处理有机废弃物(如餐厨垃圾), 不仅可以收获高品质的虫体蛋白, 同时还可以获得优良的有机肥原料^[13-16]。入选的蝇蛆生物转化案例日处理餐厨垃圾 40 t, 具有较高的自动化水平与规模, 其工艺流程如图 6D 所示。首先, 采用破碎-压榨设备对餐厨垃圾进行预处理, 降低物料含水率并使其均质化; 再经提油设备提油后, 进入搅拌罐用微生物菌剂、茨粉等调质; 制备好的蝇蛆食料由自动布料机布料, 经蝇蛆生物转化 3 d 后, 再由收料机收料。处理后的餐厨垃圾残余物通过光-振动耦合方式分离成虫和虫粪沙等。整个处理过程产生的废水(主要在预处理环节产生)可作为蝇蛆食料的调配水回用, 实现废水零排放; 同时采用新风负压系统及后端化学洗涤+活性炭工艺, 确保废气达标排放。因虫体蛋白品质佳、应用范

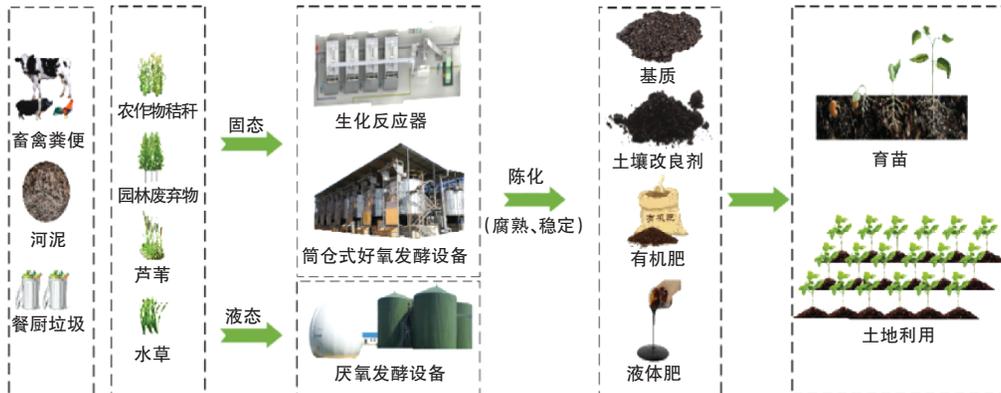
(A) 阳光房堆肥流程及设备(浙江)



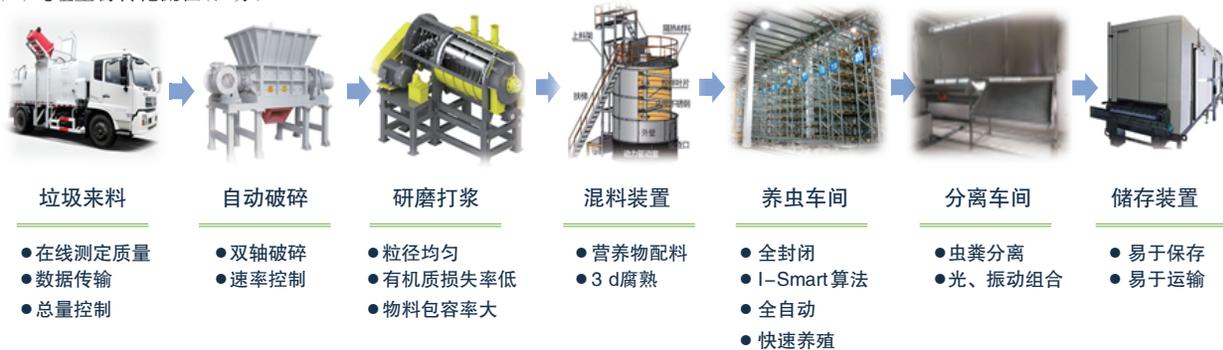
(B) 机械制肥流程(上海)



(C) 生物干化+机械成肥流程及设备(江苏)



(D) 蝇蛆生物转化流程(江苏)



图片来自案例申报材料。下同

All figures are from the application materials. The same below

图6 村镇易腐垃圾资源化利用典型案例

Figure 6 Illustrative cases of biotreatment of rural putrescible wastes

围广,该案例具有很好的经济效益,在目前全国推行垃圾分类的背景下,具有很好的应用推广前景。

3.3 热处理类技术/案例

表3的三个案例中,归为技术创新类的案例(安徽)采用的是气炭互补式炭化燃烧工艺(图7),通过热解、炭化和气相二燃室燃烧过程,配合与之匹配的污染控制流程,可实现村镇垃圾无害化处理,总体技术可行。具体而言,生活垃圾先经过破碎达到均质化,再在干燥室借助烟气和炉膛热辐射使垃圾脱水干燥,干燥后的垃圾进入炭化室,可燃气体的对冲燃烧为垃圾的气化提供大量热能,使得干燥后的生活垃圾在

高温烟气及腔室高温热辐射的缺氧环境下发生气化;炭渣进入燃尽炉排进一步燃烧。高温烟气与部分未燃尽成分进入二燃室,高温分解并停留2 s以上。二燃室排出的烟气经余热锅炉热能回收后,依次经过喷雾干燥塔、旋风除尘器、布袋除尘器、湿法塔、再热器、烟囱,完成脱酸除尘等净化过程,实现烟气达标排放。不足之处主要是处理能力小,且进料垃圾不均匀、投料冲击和垃圾水分波动等因素可能造成设备无法连续运行或运行不稳定;同时,该案例也缺少与原有处理方式的对比数据,推广应用案例少。另两个推广应用型案例(来自云南和广东)已有多多个示

表3 村镇垃圾热处理技术/案例比较

Table 3 Comparison of technologies and illustrative cases of rural waste thermal treatment

技术/案例(地区) Technology/case(Region)	特征归类 Classification	关键词 Keyword	优点 Advantage	缺点 Disadvantage
村镇生活垃圾焚烧-热解 (安徽)	技术创新类	气炭互补式炭化燃烧炉	气炭互补式垃圾炭化燃烧技术先进	处理能力小,可能出现无法连续运行或运行不稳定的问题;经济效益方面,缺失原有处理方式的对比数据,推广应用案例少;缺乏相关检测报告
村镇生活垃圾焚烧-热解 (云南)	推广应用类	热解气化	已有多多个示范工程在运行,技术具有一定的适用性	小炉子连续运行较困难,并非所有示范项目都提供了环保监测结果,经常启停炉的污染物达标排放是难点;缺失不同方式对比、投入等数据;关键技术问题表述不清楚
村镇生活垃圾焚烧-热解 (广东)	推广应用类	热解气化		处理规模太小,不具有推广性;热解氧化层的空间有限,相比于独立设置的二燃室而言气相燃烧不充分;日处理5 t左右的装置运行方式的科学性和经济性需仔细核算;废水和飞灰的处理处置未描述清楚;技术的适用性、经济性较差

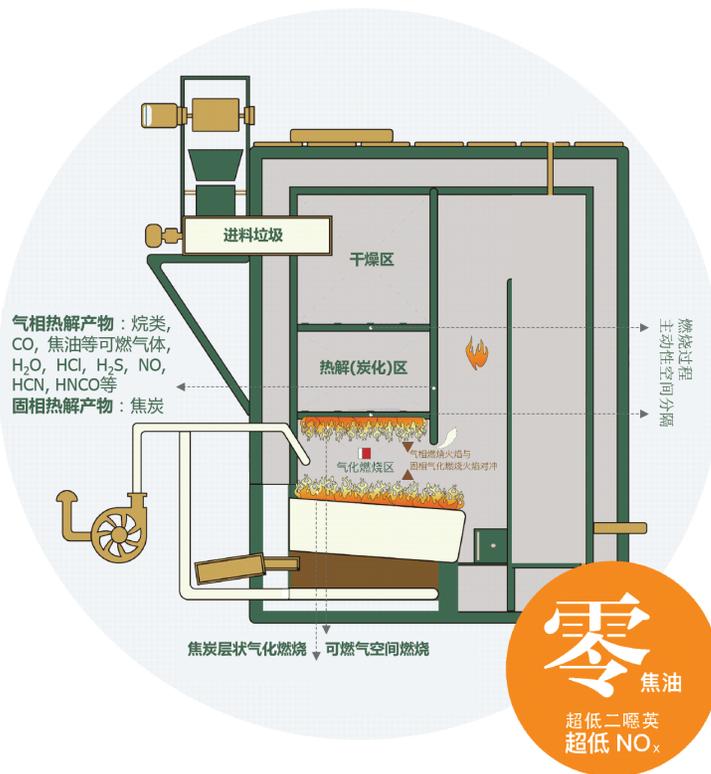


图7 村镇生活垃圾热处理案例(安徽)之气炭互补式炭化燃烧工艺

Figure 7 Complementary gas-carbon carbonization combustion process for thermal treatment of rural waste in Anhui

范工程在运行,表明技术具有一定的适用性,但焚烧炉单体规模较小($5\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$),且并非所有示范项目都能提供环保监测结果。经常停启炉的污染物达标排放是难点,同样也缺少不同处理处置方式对比数据和建设成本数据。另外,垂直炉体内热解氧化层的空间有限,相比于独立设置的二燃室,垂直炉内气相燃烧是否充分还有待检验。

4 结论

在全国普遍推行垃圾分类的背景下,各地农村生活垃圾的治理已开展了形式多样、内容丰富的实践探索。

(1)从地区分布来看,江浙两省的案例较多,与这两地近年来在农村垃圾分类及资源化处理方面较高的投入密不可分。分类、收运的案例中,管理机制方面的创新(如“五网协同”、全域覆盖、“一户一码”、第三方运营、环卫综合体等)对村镇垃圾治理的高效推进具有重要作用。

(2)厨余(易腐)垃圾资源化处理类的典型案例较多,如基于机械预处理-强化自然通风的多源有机废弃物阳光房堆肥,以及城乡有机废弃物生物干化-机械高温堆肥,这两者的适用性较强且目标效果显著。厨余(易腐)垃圾机械制肥的减量化效果明显,但不足之处是运行成本高、产物品质低。易腐垃圾昆虫生物转化技术的减量化和资源化水平较高,有较好的规模化推广应用前景。

(3)除气炭互补式炭化燃烧工艺这一创新技术外,绝大多数热解气化案例处理规模较小,可能导致运行不稳定及污染物排放不达标,这是小规模焚烧(热解)的共性技术难题。鉴于目前村镇小型焚烧热解技术案例存在诸多问题,还应不断开展焚烧热解原料控制、焚烧热解过程优化、数据持续积累以及相关标准编制方面的科学研究和实践探索。

参考文献:

[1] 何晶晶. 农村生活垃圾处理的目标、原则和评价方法浅议[J]. 环境卫生工程, 2018, 26(1): 52-55. HE P J. Target, principle and assessment method of waste treatment in small towns and rural area[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2018, 26(1): 52-55.

[2] 何晶晶. 改善农村人居环境 村镇生活垃圾治理大有作为[J]. 中国农村科技, 2020(5): 29-32. HE P J. Waste management plays an important role in improving the living environment of villages and town[J]. *China Rural Science & Technology*, 2020(5): 29-32.

[3] 何晶晶. 完善村镇生活垃圾治理体系 为社会治理提供更多保障

[N]. 中国建设报, 2020-04-14(002). HE P J. Improve the rural waste management system to provide more guarantee for social governance[N]. *China Construction News*, 2020-04-14(002).

[4] 何晶晶. 依法有效治理农村垃圾初探[N]. 中国建设报, 2021-01-15(006). HE P J. Preliminary study on effective treatment of rural garbage legally[N]. *China Construction News*, 2021-01-15(006).

[5] 李丹, 陈冠益, 马文超, 等. 中国村镇生活垃圾特性及处理现状[J]. 中国环境科学, 2018, 38(11): 4187-4197. LI D, CHEN G Y, MA W C, et al. Characteristics and treatment status of rural solid waste in China[J]. *China Environmental Science*, 2018, 38(11): 4187-4197.

[6] 吕凡, 章骅, 郝丽萍, 等. 易腐垃圾就近就地处理技术浅析[J]. 环境卫生工程, 2020, 28(5): 1-7. LÜ F, ZHANG H, HAO L P, et al. Analysis on the treatment technology of organic fraction of municipal solid waste in the neighborhood or on-site[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2020, 28(5): 1-7.

[7] 吴莉鑫, 薛映, 虞文波, 等. 南方多雨地区村镇垃圾理化特性分析及对比研究[J]. 环境卫生工程, 2021, 29(6): 59-66. WU L X, XUE Y, YU W B, et al. Analysis and comparative study on physicochemical characteristics of rural waste in rainy areas of southern China[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2021, 29(6): 59-66.

[8] HE P J. Municipal solid waste in rural areas of developing country: Do we need special treatment mode?[J]. *Waste Management*, 2012, 32(7): 1289-1290.

[9] 何晶晶. 农村垃圾治理不能照搬城市模式[J]. 城市化, 2016, 87: 64-66. HE P J. Rural waste management cannot copy the urban model[J]. *Urbanization*, 2016, 87: 64-66.

[10] 何晶晶. “分类”是农村生活垃圾治理的关键[N]. 中国建设报, 2019-05-17(008). HE P J. Classification is critical to rural waste management[N]. *China Construction News*, 2019-05-17(008).

[11] 潘如龙, 周宇晗. 农村垃圾分类看浙江[N]. 浙江日报, 2019-07-11(008). PAN R L, ZHOU Y H. A glance at waste classification in Zhejiang Province[N]. *Zhejiang Daily*, 2019-07-11(008).

[12] 毕峰, 李相儒, 韩泽东, 等. 我国农村易腐垃圾机器成肥产品质量评价——以杭州市为例[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(5): 1016-1022. BI F, LI X R, HAN Z D, et al. Quality evaluation of mechanical composting products for putrescible wastes in rural areas in China: A case study in Hangzhou[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(5): 1016-1022.

[13] ERMOLAEV E, LALANDER C, VINNERÅS B. Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with *Hermetia illucens* [J]. *Waste Management*, 2019, 96: 65-74.

[14] GUO H W, JIANG C L, ZHANG Z J, et al. Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 750: 141656.

[15] 江承亮, 腾昌运, 李敬, 等. 蝇蛆生物转化餐厨垃圾的效能评估[J]. 应用与环境生物学报, 2017, 23(6): 1159-1165. JIANG C L, TENG C Y, LI J, et al. The effectiveness of bioconversion of food waste by housefly larvae[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2017, 23(6): 1159-1165.

[16] ČIČKOVÁ H, NEWTON G L, LACY R C, et al. The use of fly larvae for organic waste treatment[J]. *Waste Management*, 2015, 35(1): 68-80.