

餐厨/厨余垃圾分布式昆虫转化就地处理设备的设计与应用

徐 猛^{1,2}, 孟雪松^{1,2}, 孔祥平², 王 聪², 杜 静^{1,2*}

(1. 江苏大学 农业工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 江苏省农业科学院畜牧研究所, 农业农村部种养结合重点实验室, 农业农村部农村可再生能源开发利用华东科学观测实验站, 江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心, 江苏 南京 210014)

摘 要: 为了解决餐厨/厨余垃圾在存放、收集、转运及处置过程中存在的问题, 利用黑水虻转化率高、周期短和产品附加值高等特点, 设计了一种餐厨/厨余垃圾分布式昆虫转化就地处理设备。该设备具有占地面积小, 便于分布式建设; 自动化养殖, 智慧化运营管理, 就地资源化循环利用; 便于复制推广等优点。通过应用该设备, 既解决了餐厨/厨余垃圾收集与转运难题, 又节省了收运费, 无论是小区居民及物业, 还是垃圾收运单位和处理单位, 都可以大大节约成本、降低能耗, 并缩短处理流程降低了管理风险, 符合“节能减排”、“低碳循环”和“人居环境整治”等国家发展战略政策, 具有很好的经济、社会和生态效益。

关键词: 餐厨/厨余垃圾; 分布式; 昆虫转化; 黑水虻; 就地处理

中图分类号: S216.4; X705 文献标志码: A 文章编号: 1000-1166(2023)06-0068-04

DOI: 10.20022/j.cnki.1000-1166.2023060068

Design and Application of Distributed Insect Conversion Equipment for Local Treatment of Food Waste / XU Meng^{1,2}, MENG Xuesong^{1,2}, KONG Xiangping², WANG Cong², DU Jing^{1,2*} / (1. Institute of Agricultural Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 2. Institute of Livestock Research, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Crop and Livestock Integration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; East China Scientific Observing and Experimental Station of Development and Utilization of Rural Renewable Energy, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing 210014, China)

Abstract: To solve the problems existing in the storage, collection, transfer and disposal of food waste. Taking advantage of the characteristics of high conversion rate, short cycle and high added value of products of the black water fly, a distributed insect transformation on-site treatment equipment for food waste was designed. The equipment has small floor area and is convenient for distributed construction; Automatic breeding, intelligent operation and management, local resource recycling; It is easy to copy and promote. The application of this equipment not only solves the problem of collection and transportation of food waste, but also saves the collection and transportation costs. Whether it is residential residents and property, or garbage collection and transportation units and treatment units, it can greatly save costs, reduce energy consumption, and shorten the treatment process to reduce management risks. It is in line with national development strategic policies such as "energy conservation and emission reduction", "low carbon cycle" and "residential environment improvement", and has a good economy Social and ecological benefits.

Key words: food waste; distributed site; insect convert; black soldier fly; local treatment

餐厨/厨余垃圾主要是指从事餐饮服务、单位供餐、食品生产加工等活动的单位和个人在生产、经营过程中所产生的食物残余、食品加工废料和废弃食

用油脂等。全世界餐厨/厨余垃圾产生量约占市政固体废弃物总量的 30%~50%^[1]。中国主要城市实际每年平均产生餐厨/厨余垃圾不低于 9000 万 t,

收稿日期: 2023-02-10 修回日期: 2023-03-23

项目来源: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(21)1008)

作者简介: 徐 猛(1997-)男,安徽阜阳人,硕士研究生,主要从事黑水虻智能化养殖装备研究等工作, E-mail: 909501056@qq.com

通信作者: 杜 静, E-mail: dj1982111@126.com

而大中型城市如北京、上海的餐厨/厨余垃圾产量尤为惊人,其中北平均产生餐厨/厨余垃圾约 $1050 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$,上海平均产量约 $1300 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$,未来餐厨垃圾的产量仍将不断递增^[2]。

餐厨/厨余垃圾整体含水率较高,约为 $75\% \sim 85\%$;脂肪和蛋白占比较大,有机质含量高,约占干质量的 $80\% \sim 93\%$;油脂含量丰富,约占 $2\% \sim 3\%$ 。在可持续发展理念指导下,实现餐厨/厨余垃圾资源化利用已成为新时代的重要发展内容,因此,围绕餐厨/厨余垃圾资源化利用技术开展研究是极有必要的。目前餐厨/厨余垃圾的主要处理技术路线包括厌氧发酵技术、昆虫生物转化技术、好氧堆肥技术以及焚烧和填埋技术4大类^[3-4]。技术优劣势比较见表1。

表1 餐厨/厨余垃圾主要处理技术优劣势比较

项目类别	厌氧发酵	堆肥化	焚烧	填埋	昆虫转化 (黑水虻)
减量化程度	较高	较高	高	高	高
资源化程度	高	高	高	无	高
技术安全性	好	较好	好	较好	好
技术先进性	先进	较好	一般	一般	先进
技术可靠性	较好	好	好	好	好
能耗	较少	一般	一般	少	少
工程占地	较大	大	较大	大	少

其中生物转化技术是利用蝇蛆、黄粉虫、黑水虻、蚯蚓等昆虫处理餐厨/厨余垃圾,转化为高营养的昆虫蛋白用于水产或畜禽饲料。昆虫生物转化技术凭借操作简单、能耗低、效率高、产品附加值高等优势,近几年受到越来越多的关注。目前研究较多的是利用黑水虻处理餐厨/厨余垃圾,黑水虻的优势在于食性广、食量大、生长周期短、抗逆性强、耐油耐盐、生态安全性高、幼虫营养价值丰富等,成熟幼虫的蛋白质含量约为 $40\% \sim 50\%$,虫体干物质脂肪含量约为 35% ,是餐厨/厨余垃圾处置领域极具产业化前景的昆虫种类。黑水虻是在同类中最优秀的,完全竞争过家蝇,威胁家蝇生存,可间接抵制家蝇滋生,而且黑水虻能够强效杀灭垃圾中的病菌,快速消化处理餐厨/厨余垃圾,并将餐厨/厨余垃圾转换为自身营养物质^[5-7]。另外,黑水虻幼虫被收集、粉碎、干燥等处理后,可替代豆粕、鱼粉等作为饲料蛋白来源,也可以直接喂养蛙、龟、鸡、鸭等^[8]。可见,利用黑水虻来处理餐厨/厨余垃圾是一项“环境友

好型技术”,能够实现垃圾的无害化、资源化和减量化。

1 设计理念及方案

1.1 设计理念

餐厨/厨余垃圾目前在很多城市缺乏规范化管理,收集容器摆放地环境脏乱、滋生害虫,易传染疾病,危害人体健康,且收集地周边容易产生难闻气味。由于餐厨/厨余垃圾含水率较高的特性,在运输过程中存在餐厨/厨余垃圾外漏、倾洒等一系列问题。针对于餐厨/厨余垃圾处理转化问题,本设计为一种应用于住宅小区或街道的餐厨/厨余垃圾昆虫转化就地处理设备。居民每天可以将产生的餐厨/厨余垃圾及时投放入投料口,当投放量达到设定量后,设备将自动运行先对餐厨/厨余垃圾进行粉碎预处理,并泵入储料罐,用于饲喂黑水虻转化为饲料蛋白源产品——黑水虻商品虫和具有高腐殖质含量的虫粪。工作人员根据幼虫养殖周期定期进行收虫和虫粪工序,并投放下一批黑水虻虫苗。其中分离出的虫粪经短期的二次堆肥处理后可用于小区绿化的有机肥料,而商品虫幼虫可以直接销售给水产养殖公司、饲料加工企业或第三方经纪人进行后端处理和利用。具体流程如图1所示。

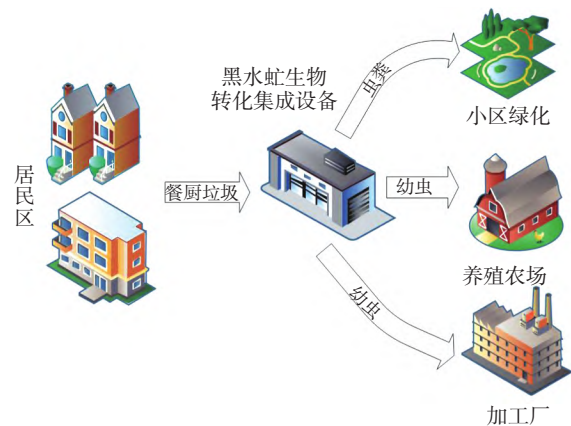


图1 黑水虻就地处理餐厨/厨余垃圾流程示意图

1.2 设备结构设计

该设备设计为集装箱式,可放置在小区的偏僻位置,具有占地面积小的特点。其中所有设备安装在密闭的集装箱内,能够很好地防止气味外泄。整体设备外部示意图如图2所示,设有餐厨投料口,虫苗投放口,出虫口以及餐厨浆料观察口。餐厨投料口处有一块可活动挡板,并且安装有除臭喷淋装置,防止投放餐厨/厨余垃圾后或储存期间产生臭气

散发。

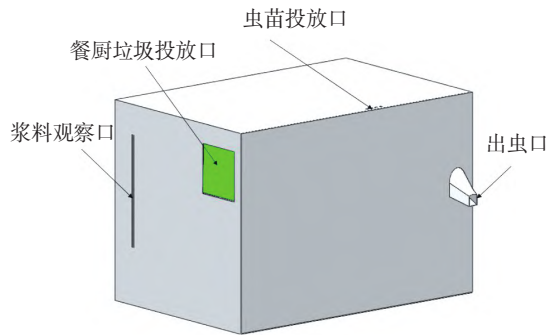


图2 黑水虻就地处理餐厨/厨余垃圾设备外部示意图

图3为箱体内部结构示意图,图4为黑水虻就地处理餐厨/厨余垃圾设备整体示意图。

在垃圾投放口下端安装有精细分选制浆一体机,餐厨/厨余垃圾经投放口投入后通过高速运行并利用主轴连接的刀头实现餐厨粗浆料中有机物(含骨头、蔬菜根茎、肉块、米面制品等)的精细破碎与制浆,并剥离出玻璃、陶瓷、塑料等惰性无机物和难降解有机物^[9],浆料通过管道泵入储料罐进行储存,杂质则进入收集仓由工作人员定期清理。设备设计的昆虫养殖程序控制系统根据设置好的布料时间与布料量进行自动布料,布料口设为多通道,同时养殖床开始旋转进行均匀布料;设备运营技术人员将孵化出的虫苗通过投虫管道投入到养殖床上,同时圆盘型养殖床通过同步旋转使虫苗均匀投放至养殖床上;设备设计的养殖环境控制系统,能够使养殖环境保持在适宜的条件,使得黑水虻可以更加高效降解餐厨/厨余垃圾。由前人研究可知,黑水虻幼虫养殖期间主要释放的气体为 CO_2 和 NH_3 ^[10],养殖箱体内部安装有新风系统,可通过预设参数进行定时排气换气,其排出的气体可通过埋藏在地下的管道排出,通过小区绿化植物将二氧化碳吸收,同时通过地下土壤中的硝化细菌将氨气吸收转化为可供植物吸收利用的硝酸盐,进而达到协同净化吸收的效果。整个养殖周期仅10天,养殖结束后,各养殖盒独立绞龙及其前部刮板下降,养殖床通过旋转促进物料和虫体经刮板进入出料绞龙,收集入储存仓,并经绞龙提升输送至出料口,最终被设备运营技术人员将餐厨/厨余垃圾昆虫转化后物料放入移动分筛设备,实现幼虫与虫粪有效分离。分离后的虫粪可交予小区物业用作小区绿化的有机肥料,而幼虫直接送至养殖场当作活体饲料或送至加工厂进行后续加工处理。

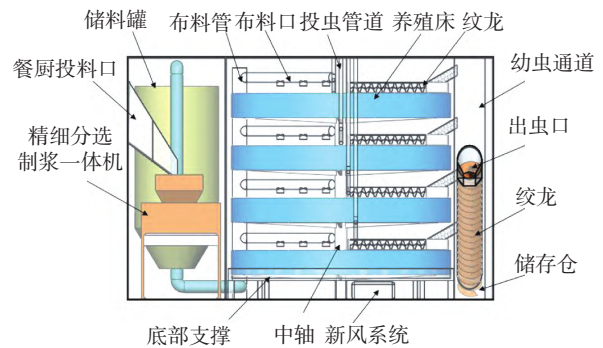


图3 黑水虻就地处理餐厨/厨余垃圾设备内部结构示意图

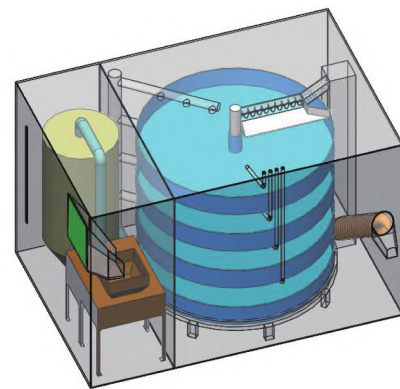


图4 黑水虻就地处理餐厨/厨余垃圾设备整体示意图

2 结果与讨论

2.1 设计创新性分析

餐厨/厨余垃圾目前主要通过源头分类投放集中清运-集中处理点及分布式餐厨一体化设备两种模式进行处理,集中清运模式下大多采用提油脱水+厌氧工艺,由于易腐发臭导致收运管理要求高,并且集中厌氧处理后沼液处理费用代价高;而现有的分布式处理设备全部采用提油后高温快速干化工艺,能耗高,资源浪费,并且干化后残渣因盐分高很难被再利用。因此,研究团队开发出餐厨/厨余垃圾分布式昆虫转化就地处理设备,充分利用环境昆虫黑水虻繁殖快、生物量大、食性广、吸收转化率高,且容易管理、饲养成本低、产品附加值高等特点,通过在住宅小区或街道分类垃圾收集点设置分布式昆虫转化就地处理设备,实现餐厨/厨余垃圾就地处理并转化为昆虫蛋白和高品质有机肥。该设备具有如下创新性:

(1) 占地面积小,便于分布式建设。该设备可以分布安装在城市或城乡集中居住的住宅小区、街道分类垃圾收集点等地方,解决了餐厨/厨余垃圾收运滴漏抛洒、处理周期长、成本较高等痛点问题。

(2) 无人值守,自动化养殖,智慧化运营管理。

该设备采用密闭养殖环境,能够有效地避免养殖过程中产生的恶臭气体污染周边环境,采用自动化养殖能够有效减少人工,运营单位仅需定期收虫和投放虫苗,同时通过智慧化养殖监控系统实时监测养殖实际工况,并将出现的故障问题及时反馈至运营终端,以便及时采取相应的远程控制或技术人员现场处置预案。

(3) 实现有机垃圾低碳减排处理,就地资源化循环利用。该设备运行能耗较低,以垃圾粉碎能耗为主,可通过加装太阳能或光伏板补充大部分能源需求,并且养殖过程不产生污水,产生的养殖废气可通过小区绿化植物和地下土壤协同净化吸收,实现垃圾处理的低碳减排,同时生产出的虫体蛋白和虫砂有机肥可销售作为水产养殖饲料蛋白和种植业有机肥源,从而实现资源化循环利用。

(4) 产品附加值高,合作机制稳固,便于复制推广。所收获的虫体蛋白目前市场批发价格约 2500 ~ 3000 元·t⁻¹,虫砂有机肥由于量少可就近用于小区绿化,在此不计附加值。运营单位可与小区物业或街道垃圾收集点负责人形成很好的利益联结机制,小区物业一方面可以节省餐厨垃圾收运处理费,还可以通过协助运营管理获得一部分收益,并且有机肥就地用于小区绿化也可以节省部分肥料支出;运营单位将原有高含水率的垃圾清运改为低含水率的黑水虻虫体运输,大大节省收运成本,同时通过多个辐射运维,掌握了前端大量的餐厨/厨余垃圾原料资源。

2.2 设备应用预测及影响分析

该设备可应用于小区、餐饮店、公司食堂等场景,既解决餐厨/厨余垃圾处理问题,收获的黑水虻幼虫也能带来最直接的经济效益。该设备设计为长 3 m,宽 2 m,高 2 m(可根据垃圾量酌情调整设备规格参数),占地面积 6 m²,有效养殖面积为 10 m²。按照研究团队现有技术,10 m²的有效养殖面积每天能处理 100 kg 的餐厨/厨余垃圾,可产生约 20 kg 鲜虫和 30 kg 虫砂。按照鲜虫市场批发价 2500 元·t⁻¹和虫砂有机肥 400 元·t⁻¹测算,该设备满负荷运行工况下,每天处理餐厨垃圾可获得 62 元毛收入(折合每月 1860 元),既解决了餐厨/厨余垃圾收集与转运难题,又节省了收运费用,无论是小区居民及物业,还是垃圾收运单位和处理单位,都可以大大节约成本、降低能耗,并缩短处理流程降低了管理风险,同时也符合“节能减排”、“低碳循环”和“人居环境整治”等国家发展战略政策,具有很好的经济、社会和生态效益,同时通过模块化设计、智慧化管理和利益化联结等可实现快速复制推广。

3 结论

为了解决餐厨垃圾分布式就地处理的现实问题,设计开发出一种餐厨/厨余垃圾分布式昆虫转化就地处理设备,具有占地面积小,便于分布式建设;无人值守,自动化养殖,智慧化运营管理;实现有机垃圾低碳减排处理,就地资源化循环利用;产品附加值高,合作机制稳固,便于复制推广等优点。该设备可应用于小区、餐饮店、公司食堂等场景,既解决餐厨/厨余垃圾处理问题,收获的黑水虻幼虫也能带来最直接的经济效益,经测算每天处理餐厨垃圾可获得 62 元收益,既解决了餐厨/厨余垃圾收集与转运难题,又节省了收运费用。

参考文献:

- [1] LUO L, WONG J. Enhanced food waste degradation in integrated two-phase anaerobic digestion: Effect of leachate recirculation ratio [J]. *Bioresource Technology*, 2019 (291): 121813.
- [2] AN Y, LI G, WU W, et al. Generation, collection and transportation, disposal and recycling of kitchen waste: a case study in Shanghai [J]. *Waste management research the journal of the international solid wastes public cleaning association iswa* 2014, 32(3): 245.
- [3] 周海林. 餐厨/厨余垃圾资源化利用技术研究现状及展望[J]. *中国资源综合利用* 2021 39 (05): 70-73.
- [4] 常燕青, 朱丽可, 张乐乐, 等. 典型餐厨/厨余垃圾处理实用技术探讨[J]. *山西建筑* 2021 47 (12): 1-3.
- [5] 许耘凡, 卢勇. 空调养黑水虻技术在厨余垃圾处理中应用[J]. *轻工科技* 2021 37(11): 8081.
- [6] CAI MM, HU RQ, ZHANG K, et al. Resistance of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to combined heavy metals and potential application in municipal sewage sludge treatment [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25(2): 1559-1567.
- [7] 孙运奇, 苗金辉, 周田田, 等. 黑水虻生物转化有机废弃物研究进展[J]. *安徽农业科学* 2021 49(15): 10-13+17.
- [8] 崔锡卿, 孟晓雪, 卫育良, 等. 黑水虻幼虫粉替代鱼粉在暗纹东方鲀饲料中的应用[J]. *上海海洋大学学报*, 2021(11): 1-17.
- [9] 满丽萍, 郭虎, 吴元, 等. 机械分选制浆的餐厨垃圾制备生物炭的探究[J]. *环境卫生工程* 2022 30(04): 35-40.
- [10] 叶牧, 孔祥平, 叶小梅, 等. 餐厨垃圾含水率和碳氮比对黑水虻幼虫养殖过程中气体释放的影响[J]. *江苏农业科学* 2023 51(04): 220-225.