

# 厨余务尽——餐厨垃圾高效处理系统

陈端 原萌 轩文文 濮向杰 赵淑贤

河南理工大学 河南 焦作 454150

**【摘要】：**习总书记对垃圾分类之后怎么做的问题提出两个方向——“以沼气和生物天然气为主要处理方向，以就地就近用于农村能源和农用有机肥为主要使用方向”。为响应“绿水青山就是金山银山”的时代号召，针对餐厨垃圾处理周期长、污染环境、占用土地等问题，本装置基于餐厨垃圾的特点，设计采用餐厨垃圾好氧制肥、厌氧发酵制沼和粗油脂提取协同处置模式，通过好氧、厌氧和生物柴油技术的有机融合，压缩餐厨垃圾处理时间，把有机质最大化提取出来，形成高养分有机肥及燃气用的沼气，响应节能减排的号召，节约土地，减少污染。本装置通过对好氧堆肥、厌氧制沼和粗油脂提取结构设计，在强化发酵过程中通过细节全面处理与环境参数精准控制，有效缩短发酵时间，实现餐厨减量化、资源化和无害化高效处理，实现变废为宝、减少污染、节约耕地的目的。

**【关键词】：**节能减排；好氧堆肥；厌氧制沼；粗油脂提取；变废为宝

## 1 研究背景及意义

### 1.1 研究背景

随着城市化进程的加快，城市生活垃圾的产量逐年增加，其中餐厨垃圾是其重要组成部分。餐厨垃圾含水率高、有机质含量高、生物降解性好、易变质，在收集、运输和储存过程会产生渗滤液和发生生物降解，降解时会产生恶臭和有毒气体，可能会造成严重的环境污染。餐厨垃圾的减量化、无害化和资源化利用已成为人们关注的焦点。

目前，我国对餐厨垃圾的处理方法有很多，其中主要有生物柴油处理法、饲料化处理法、好氧堆肥法和厌氧发酵等处理方法。然而，目前我国厨余垃圾处理的主要方法还是垃圾填埋与焚烧，很小的一部分进行饲料化与厌氧消化处理。这样处理不仅造成了资源的浪费，还会对环境造成二次污染。

(1) 生物柴油技术。生物柴油技术是将餐厨垃圾中的油脂分离出来与甲醇或乙醇经转酯化而形成的脂肪酸甲酯或乙酯，为我国的化石燃料行业注入了新的能源支持。但是我国废弃油脂过于分散，收集困难，难以满足生物柴油的大规模生产。如图1所示，左边为生物柴油，右边为从餐厨垃圾中分离出来的油脂。

(2) 饲料化处理技术。饲料化处理技术主要是将餐厨垃圾中的有机物通过生物方式进行转化，并采取烘干、杀毒、杀菌等步骤，最终生成具有价值的饲料添加物，其优点是机械化程度高，占地面积较小，垃圾的资源化利用程度高，缺点是餐厨垃圾中很可能会携带着一些病原性的微生物，有些可能很难消除，这些饲料病原微生物会伴随着食物链最终进入到人类体内，危害人类健康。处理后的饲料如图2所示。

(3) 好氧堆肥技术。好氧堆肥是指在通风条件下保持一定的温度，添加某种膨松剂，并通过微生物将有机物降解为腐殖质的过程。好氧堆肥的优点是操作简单，缺点是在堆肥过程中会产生大量的二氧化碳、甲烷等温室气体，并且在堆肥的过程中会产生恶臭，滋生蚊虫等。餐厨垃圾中的盐类流入土壤会造成土地盐碱化，而过高的油脂含量会造成土壤的板结，不利于植物的生长。如图3所示。

(4) 厌氧发酵技术。厌氧发酵技术是餐厨垃圾中的有机物在厌氧菌和适宜的温度条件下，经过发酵降解产生沼气，可用于发电、供热等，能够缓解能源供应紧张的局面。其缺点是工程投资较大，工艺较复杂，对温度要求较高，项目周围最好配套有足够的农田来消纳沼液，否则还需配套污水处理设施。如图4所示。

市面上现有的餐厨垃圾处理装置存在收集困难、食物链危害、污染环境、工艺复杂等问题，基于以上研究，我们设计了能够一体化高效处理餐厨垃圾的装置，本装置将好氧堆肥、厌氧制沼和生物柴油技术进行有机结合，能够极大地提高餐厨垃圾的利用率，同时减少臭气的排放，转化为资源友好型气体沼气，节能又减排。



图1 生物柴油技术



图2 饲料化处理技术



图3 好氧堆肥技术



图4 厌氧发酵技术

## 1.2 研究意义

近年来,我国餐厨垃圾处理行业快速崛起。在2017年初发改委印发的《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》中,就将“餐厨废弃物资源化无害化利用”的相关装备和技术研发,列入“资源循环利用产业”分项之一。本装置结合好氧过程易产生臭气、厌氧过程工艺复杂、粗油脂提取过程收集难等缺陷,有针对性地对装置进行了升级改造,可实现将臭气“变废为宝”、简易化工序、增加垃圾处理量,可以实现餐厨垃圾的减量化、无害化,并回收短链脂肪酸、氢气和甲烷等能源,是一种有效的资源回收设备。

## 2 设计方案

### 2.1 设计思路

本项目研发餐厨垃圾高效处理系统,主要针对对于独立运行的餐厨垃圾处理项目,是一种精分选、高提油、浓有机质的处理工艺。本系统由好氧堆肥装置、厌氧制沼装置和粗油脂提取装置组成,其中好氧堆肥装置由预处理舱室(含质量检测模块及粉碎混合模块)、发酵舱室(含给氧模块及温度传感模块)、尾气处理舱室(含尾气处理模块)三大部分组成。厌氧制沼装置主要由加料模块、搅拌模块、环境控制模块、沼气收集模块以及生成物收集和排放模块。粗油脂提取装置由油水分离模块、餐厨油脂反应模块、粗油脂收集模块组成。能够完成餐厨垃圾的粗分选、破碎分选、制浆除杂、液相提油等工序,餐厨垃圾经处理后被细分为固、液、油三种物质,总体设计思路如图5所示。

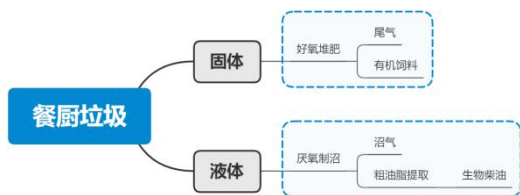


图5 设计思路

## 2.2 机械结构与工作原理

### 2.2.1 好氧堆肥装置

好氧堆肥装置主要由分拣机、测重机、加料机、破碎机、发酵舱室和尾气处理舱室组成,各个模块设计如下:

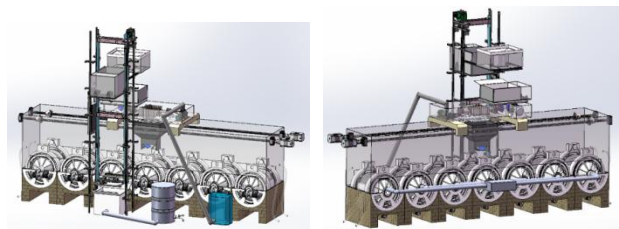


图6 好氧堆肥装置

#### (1) 分拣机

该设备相当于对餐厨垃圾进行预处理,主要筛选出粒径在50~60mm的大杂物,包括易拉罐、瓷片、塑料袋、大骨头等。垃圾被投放进投料口静置十分钟,油、水在重力作用下通过图7中的水、油管流入后方暂存箱,实现第一步的固液分离,液体会在下一装置进行厌氧发酵。固体留在传送箱内,传送箱侧壁为一面单层三面双层的结构,四面侧壁一体式连接,在推出垃圾时可与底部箱壁分离。与单层箱壁水平相对的双层箱壁间装有电动推杆,四侧箱壁起环绕支撑和推动作用,在电机的推动下将垃圾推出,垃圾进入测重区。

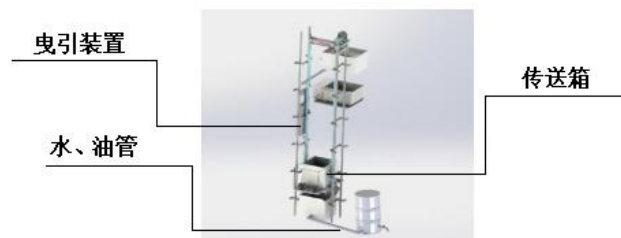


图7 分拣机的结构外形图

#### (2) 测重机

当厨余垃圾被送入测重装置,如图8所示,由安装在侧方的超声波检测到已在传送箱经过过滤的厨余垃圾后,反馈信息至控制系统,系统控制底部的压力传感器进行测重,根据称重得出的垃圾重量,算出要投放的EM菌液体积及玉米秸秆重量(每100kg垃圾添加5L浓度为10%的EM菌液,及5kg粒径为2cm的玉米秸秆)。

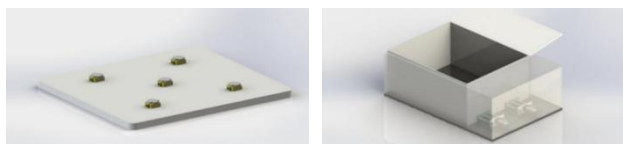


图8 测重机的结构外形图

### (3) 加料机

输送过程中, 由系统首先控制玉米秸秆投料口阀门开放, 投入玉米秸秆, 当压力传感器测出垃圾和加入玉米秸秆重量之和达到重量标准, 关闭玉米秸秆投料口阀门。如图9所示。

### (4) 破碎机

测重箱内的电动推杆(图8)运作将垃圾推入破碎机, 该设备的主要作用是将物料切割、破碎, 提供满足后段工艺要求的物料。垃圾在粉碎刀轴之间通过被安装的刀片组切割破碎, 经随机破碎后的物料粒径在22mm左右。同时系统打开EM菌液辅料投料口阀门(如图10), 以100ml/秒的流速投放EM菌液进行粉碎混合, 根据之前算出的投放量, 控制阀门的开放时间, 在达到投放量时关闭阀门。投放过程中垃圾暂存在垃圾粉碎箱(图11)中。为了达到有效破碎, 物料在设备内的停留时间要求在10min以上。

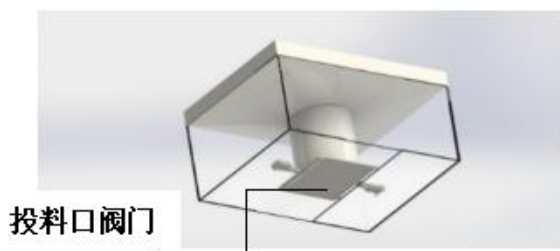


图9 玉米秸秆加料机的结构外形图



图10 破碎机外形图

图11 垃圾粉碎箱

### (5) 发酵舱室

发酵舱室主要作用是进一步将物料处于好氧状态下搅拌、通风, 内轮和外轮的朝向一致, 且发酵舱室打开时, 垃圾能够进入发酵舱室。一段时间后垃圾全部进入发酵舱室,

垃圾储存箱的液压杆(图11)伸长, 底部关闭, 在滚珠丝杠带动下回到粉碎模块下方。与此同时发酵舱室的电机带动外轮转动180°, 内轮不动使发酵舱室处于密封状态。密封后, 内轮和外轮做同方向(顺时针)、同频率(20r/min)的滚动以此来保证厨余垃圾在发酵桶内的发酵。

### (6) 尾气处理装置

针对发酵产生的H<sub>2</sub>S等有害气体设立了尾气处理装置(图13), 发酵桶尾部设有排气导管, 发酵过程中持续产生的废气在负压原理作用下通过排气导管进入尾气处理装置, 此装置位于七个发酵舱室的中间, 利用陶粒等吸附质对尾气进行吸收处理, 符合国家排放标准后排出室外, 有效减少大气污染。



图12 发酵舱室

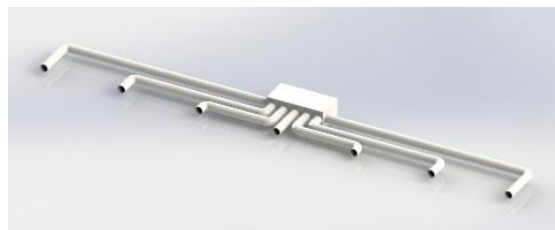


图13 尾气处理装置

## 2.2.2 厌氧制沼装置

厌氧制沼装置主要由加料模块、搅拌模块、环境控制模块、沼气收集模块以及生成物收集和排放模块, 各个模块设计如下:



图14 厌氧制沼装置示意图

### (1) 加料模块

餐厨垃圾废水在较高含碳量的基础上继续提高餐厨垃

圾废水的碳氮比,有利于厌氧发酵过程的进行,提高产气量,而且能够提高得到的沼气中甲烷的含量。加料模块为方形漏斗状,由人工加料,将餐厨垃圾废水与碳源和氮源混合,得到混合溶液。如图 15 所示。

### (2) 搅拌模块

在固液分离之后,水油混合物被送入厌氧制沼装置中,搅拌模块由电机带动五个搅拌轴做 360 度的旋转,搅拌棒错开做往复旋转运动,以使液体能够充分反应。如图 16 所示。

### (3) 生成物收集模块

沼气的主要成分是  $CH_4$ , 密度比空气轻,在装置上方开一口以收集沼气。反应趋于稳定之后后方的收集装置的阀门打开,沼渣排出,流入粗油脂提取装置。如图 17 所示。

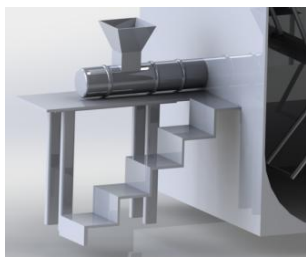


图 15 加料模块



图 17 生成物收集模块

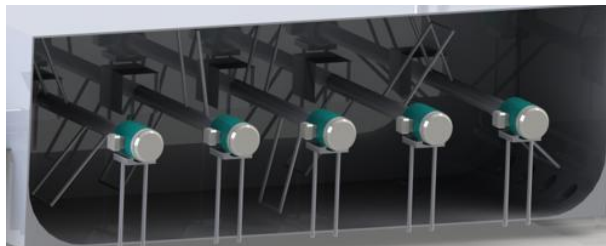


图 16 搅拌模块

### 2.2.3 粗油脂提取装置

粗油脂提取装置由油水分离模块、餐厨油脂反应模块、粗油脂收集模块组成,各个模块设计如下:

#### (1) 油水分离模块

油水分离主要是根据水和油的密度差的不同,利用重力沉降原理完成油份和水份的分离。上一步的沼渣进入此模块之后,静置 12 小时,废油漂浮在废水上面,通往反应模块的通道阀门打开,废油流入反应模块,沉下来的废水流入沼气池里制沼。如图 18 所示。

#### (2) 餐厨油脂反应模块

废油被送入反应模块,为使反应充分,在模块中间放置

一搅拌装置,上方开一口加入碱性物质控制 PH,催化剂加快反应速度。粗油脂经过精炼提纯及油品提升,是生物柴油的最佳原料。如图 19 所示。

#### (3) 沼气池模块

好氧堆肥、厌氧制沼和粗油脂提取的未反应完全的产物均被投入此装置,得到沼气和沼液。如图 20 所示。

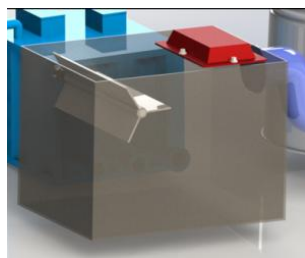


图 18 油水分离模块



图 19 餐厨油脂反应模块

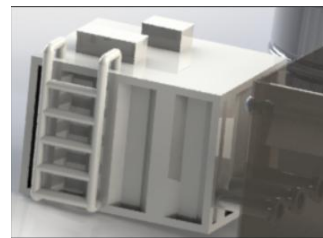


图 20 粗油脂收集模块

## 3 理论设计计算

表 1 好氧堆肥理论设计及效益分析

| 项目            | 参数                                                                                           |                                                                  |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 合理发酵物性及发酵环境参数 | C/N 比约为 30:1;<br>含水率约为 60%;<br>PH 值约为 6.0;<br>温度为 50~60℃;<br>鼓风机风速为 13L/h;<br>氧气浓度为 14%~17%。 |                                                                  |
| 添加辅料          | 每 100kg 垃圾添加 5L 浓度为 10% 的 EM 菌液, 及 5kg 粒径为 2cm 的玉米秸秆。                                        |                                                                  |
| 垃圾处理量         | 厨余垃圾密度为 1050kg/m <sup>3</sup> ;<br>高油高盐等液体含量 39.86%。                                         | m 容=pV 实*(1-39.86%)<br>=623.7kg,<br>年处理垃圾 365÷7×623.7×7=227.7 吨。 |

|       |                                                                                          |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 发酵产物量 | 产肥率为 76%，则年产肥量 $227.7 \times 76\% = 173.01$ 吨。                                           |
| 经济效益  | 每填埋一吨垃圾大约需要 2258 元，本装置处理净成本为 1800 元/吨，装置每年可节省 $(2258 - 1800) \times 227.7 = 104286.6$ 元。 |

表 2 厌氧制沼理论设计及效益分析

| 项目            | 参数                                                                                                              |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 合理发酵物性及发酵环境参数 | 含水率约为 60%；<br>PH 值为 5~10；<br>温度约为 55℃；<br>氧气浓度为 0。                                                              |
| 添加辅料          | Na <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup> 、Ga <sup>2+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、Zn <sup>2+</sup> 、Mn <sup>2+</sup> 中的一种或几种 |
| 沼气产出量         | 530g/ml·d                                                                                                       |
| 经济效益          | 沼气工程采用 30 kW 沼气内燃机组发电，每天发电约 11 h，日最大发电量为 329 kW·h，年最大发电量为 120 MW·h，每年可节约电费 8.27 万元。                             |

表 3 粗油脂提取理论设计及效益分析

| 项目            | 参数                                                                                         |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 合理发酵物性及发酵环境参数 | 醇油比：7~8；<br>反应温度：60℃；<br>催化剂的用量为油脂重量的 0.5~2.0%；                                            |
| 添加辅料          | 催化剂 NaOH、甲醇                                                                                |
| 粗油脂产出量        | 在 60℃ 水浴条件下，原料配比为大豆油 44g，甲醇 12.8g，氢氧化钾 0.8g 下，反应 5 小时，浊度约为 12NTU。大约 1.2 吨废弃油脂可以生产 1 吨生物柴油。 |
| 经济效益          | 年处理 1 万吨废弃油脂的投资大约为 1000 万元，年利润可达 695.7 万元。                                                 |

#### 4 创新特色

(1) 三大技术有机结合。好氧堆肥、厌氧制沼和粗油脂提取三大技术相结合，高效处理餐厨垃圾，三大技术对应三大装置，将餐厨垃圾处理流程化、简单化。

(2) 两大循环高效利用。好氧堆肥和厌氧制沼未能处理完全的产物被送入粗油脂提取装置的沼气池里面制沼；过

滤分离之后的固体进入好氧堆肥装置继续发酵。两大循环实现餐厨垃圾的高效利用。

(3) 多种产物助力能源。好氧堆肥装置能制有机肥、厌氧制沼装置和沼气池可以生产沼气、粗油脂提取装置能够制生物柴油，沼渣、沼气、有机肥、生物柴油等多种产物实现能源的循环利用。

#### 5 应用前景

随着我国人民生活水平的不断提高，产生的餐厨垃圾数量日益增多，在环保严要求的背景下，要大力提倡循环经济和自主创新，根据餐厨垃圾的特点，开发资源化处理技术，为城镇和农村有机废弃物的资源化和循环利用闯出了一条标准化、可复制、规模化的有效途径。

本装置可用于餐馆、社区、村委会、大型企业、垃圾处理站等地方，应用范围广泛。另外，本装置响应节能减排的号召，操作简单，故障率低，使用寿命长，因而具有广阔的市场前景。

根据餐厨垃圾处理项目的投资运营成本预测，“十三五”期间，整个餐厨垃圾总体市场空间可达 1000-1500 亿元。其中餐厨垃圾收运体系建设约需 200 亿（收运体系其中包括垃圾容器、车辆，包括车辆和垃圾容器之间的衔接）、处理处置工程市场约需 500-1000 亿、日常运营市场大约是 300 亿、监管体系建设大约能形成 20 亿左右的市场规模。总体而言，餐厨垃圾处理整体市场规模大、增长快，处于将要爆发式增长阶段。我国餐厨垃圾处理行业尚处于起步阶段，未来可增长空间较大。随着环保产业增长，餐厨垃圾处理行业有望迎来蓬勃发展。

另外，通过本装置得到的产物也有广阔的市场前景。通过好氧堆肥装置在有氧条件下，利用好氧微生物将经过预处理的餐厨垃圾中的有机物进行降解，最终形成稳定的高肥力腐殖质；厌氧制沼装置和沼气池得到的气、液、渣均是人们在生产、生活中的很多方面都能发挥作用的无价之宝，特别是在农村生态、农业生产，资源环境、多种经营等方面尤为突出，其社会效益、生态效益、能源效益、经济效益的综合价值非常可观；粗油脂提取装置得到的油脂外售给化工厂及生物柴油厂做化工原料或加工生物柴油，实现餐厨垃圾的资源化处理。

我国餐厨垃圾产量巨大，无害化、资源化处理是当前餐厨垃圾处理的主要方向，针对餐厨垃圾的资源化处理工艺主要有饲料化、厌氧消化和堆肥处理。本装置响应国家节能减排的号召，针对餐厨垃圾的特点，采用“好氧堆肥+厌氧制

沼+粗油脂提取”相结合的工艺,将餐厨垃圾转化为资源友好型资源,不管是此处理装置还是由此装置得到的产物均具有广阔的市场前景。

### 参考文献:

- [1] 周华萍,徐著,等.有机废弃物堆肥在蔬菜生产中的应用效果试验[J].上海蔬菜,2019(04):64-65+77.
- [2] 张达余,凌培杰,等.易腐厨余垃圾好氧高温堆肥制作技术[J].现代农业科技,2019(05):164-165.
- [3] 万君宜,冯心茹,唐其旭,刘康华.城市生活垃圾无害化处理的成本-效益分析--以我国 25 个城市为例[J].资源与产业,2019,21(04):81-89.
- [4] 程伟.北京城区和农村地区生活垃圾组成特性对比分析[J].再生资源与循环经济,2020,13(01):17-22.
- [5] 张智烨,袁京.辅料添加对厨余垃圾生物干化产品燃烧热特性的影响[J/OL].环境工程学报:1-13[2020-04-23].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5591.X.20191115.1413.002.html>.
- [6] 李骞,聂曦,黄维,等.餐饮垃圾处理技术现状和问题初析[C].中国环境科学学会(Chinese Society for Environmental Sciences).2019 中国环境科学学会科学技术年会论文集(第二卷).中国环境科学学会(Chinese Society for Environmental Sciences):中国环境科学学会,2019:1123-1129.
- [7] 孙楠.国内外厨余垃圾处理技术及厌氧发酵产甲烷研究[J].能源与环境,2019(06):79-80.
- [8] 张达余,凌培杰,等.易腐厨余垃圾好氧高温堆肥制作技术[J].现代农业科技,2019(05):164-165.
- [9] 王滨,晏习鹏,等.餐饮和厨余垃圾处理技术现状与建议[J].广东化工,2018,45(18):114-115.
- [10] 柯壹红,王晓洁,等.餐厨垃圾资源化技术现状及研究进展[J].海峡科学,2018(06):5-6+9.
- [11] 李赞,袁京,李国学,张地方,王国英,张邦喜,宫小燕.辅料添加对厨余垃圾快速堆肥腐熟度和臭气排放的影响[J].中国环境科学,2017,37(03):1031-1039.
- [12] 黄嘉晋,张启扬,沈耿哲,李燕,揭英智,谭玉甜,阮加振.国内外厨余垃圾处理现状及 MBT 处理技术[J].山东化工,2017,46(07):217-219.
- [13] 卫潘明.北京地区厨余垃圾处理机全成本分析[J].城市管理与科技,2017,19(06):52-55.
- [14] 闵海华,刘淑玲,郑苇,王琦,康建邨.厨余垃圾处理处置现状及技术应用分析[J].环境卫生工程,2016,24(06):5-7+10.
- [15] 许晓杰,冯向鹏,李冀闽,陈广飞,冯仕章.餐厨垃圾堆肥项目除臭技术选择与设计[J].环境卫生工程,2014,22(06):39-41.
- [16] 林文琪.厨余垃圾-蔬菜废物协同生产液肥项目技术经济分析[J].再生资源与循环经济,2020,13(02):31-33.[17] 刘孟子,游少鸿,张军,王敦球.生活垃圾与城市污泥共堆肥控制参数[J].湖北农业科学,2013,52(23):5726-5729+5734.