

Classification Status and Technology Outlook of Kitchen Waste in China

Dan Kan¹, Xiaofeng Sima²

¹CAS Key Laboratory of Urban Pollutant Conversion, University of Science and Technology of China, Hefei Anhui

²Anhui Urban Construction Design Institute CORP, LTD., Hefei Anhui

Email: ahwhkd@163.com, huha2008@163.com

Received: Feb. 4th, 2020; accepted: Feb. 19th, 2020; published: Feb. 26th, 2020

Abstract

This paper summarizes the current situation and policies of classified management of kitchen waste at home and abroad. Problems and experiences in classification and treatment of kitchen waste in China were proposed. This paper introduces the existing treatment technologies of kitchen waste, including aerobic composting, anaerobic fermentation and reduction technology equipments of kitchen waste. Finally, the suggestion of the whole process control is put forward for the collection and treatment of kitchen waste in China. In order to realize the reduction and recycling of kitchen waste, it is emphasized to take measures and select the best scheme according to local conditions.

Keywords

Kitchen Waste, Waste Classification, Reduce, Recycle

我国餐厨垃圾分类现状及处理技术展望

阚丹¹, 司马小峰²

¹中国科学技术大学中国科学院城市污染物转化重点实验室, 安徽 合肥

²安徽省城建设计研究总院股份有限公司, 安徽 合肥

Email: ahwhkd@163.com, huha2008@163.com

收稿日期: 2020年2月4日; 录用日期: 2020年2月19日; 发布日期: 2020年2月26日

摘要

本文概述了国内外餐厨垃圾分类管理的政策及形势现状, 提出了我国餐厨垃圾分类及处理方面存在的问

文章引用: 阚丹, 司马小峰. 我国餐厨垃圾分类现状及处理技术展望[J]. 环境保护前沿, 2020, 10(2): 98-105.

DOI: 10.12677/aep.2020.101011

题和可借鉴的经验。介绍了现有的餐厨垃圾处理技术, 包括好氧堆肥、厌氧发酵及餐厨垃圾源头减量化技术设备等。最后, 针对我国餐厨垃圾的收集处理提出了全过程控制的建议, 强调因地制宜、同病异治, 选取最优方案, 实现餐厨垃圾的减量化和资源化。

关键词

餐厨垃圾, 垃圾分类, 减量化, 资源化

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国经济的飞速发展和城镇化进程的加快, 生活垃圾的产生量日渐增多, 根据 2018 年和 2019 年中国统计年鉴数据[1], 我国 2018 年全国生活垃圾清运量达 22,801.8 万吨, 相比 2017 年增长约 6%。其中卫生填埋 11,706 万吨、焚烧 10,184.9 万吨、其他 674.4 万吨。可见, 填埋和焚烧是我国生活垃圾处理的主要途径, 处理量占生活垃圾总量的 96%, 但相比 2017 年, 生活垃圾填埋处理量略有下降, 焚烧和其他处理方式的处理量有上升趋势。

根据统计, 餐厨垃圾在我国生活垃圾中占比很高, 最高可达 60% [2], 餐厨垃圾主要指家庭厨房、餐饮场所等产生的食物原材料废弃部分、过期食品、剩菜剩饭以及骨头等[3]。这直接导致了我国生活垃圾含水率高、热值低和易生物降解等典型特征。含水率高导致生活垃圾填埋过程中出现渗滤液污染或填埋气体收集效率低等问题; 而热值低则会影响垃圾焚烧炉的运行, 并导致上网电力不稳定等问题。

餐厨垃圾主要成分为米饭、面食、蔬菜、油脂等, 所含有机质含量极高, 约占其干重的 93% [4], 因此, 餐厨垃圾的资源化利用开始逐渐受到重视。如果能解决餐厨垃圾的有效分类收集和处置, 不仅能降低生活垃圾处理成本, 还能实现餐厨垃圾的资源化利用, 符合国家可持续发展的目标与路线。

2. 餐厨垃圾分类现状

2.1. 我国餐厨垃圾分类现状

早在 2000 年, 国家建设部选择北京、上海等 8 个城市作为生活垃圾分类收集试点城市, 主要是针对废纸、废塑料、废电池等资源回收, 并没有涉及餐厨垃圾的分类回收, 且该次试点运行效果很不理想[5]。2010 年我国又陆续出台了针对餐厨垃圾处置及资源化利用的指导性政策文件[6], 各大城市也开始了新一轮的垃圾分类热潮[7] [8]。2012 年 4 月, 国务院办公厅印发的《“十二五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》中要求: 推进生活垃圾分类试点示范城市的建设, 并以控制水份作为开展分类示范优先选择, 对生活垃圾进行干湿分类, 降低厨余垃圾含水率。但截至目前, 我国也仅有北京、上海、杭州等少数城市开始生活垃圾干湿分类试点。

上海市是最早实施全方位餐厨垃圾管理的城市, 2005 年即开始实施《上海市餐厨垃圾处理管理办法》, 其处置体系最完善: 政府牵头、环卫局管理、企业运作和社区参与, 并颁布了相关的政策法规, 明确环卫体系中各单位的职责, 制定各项工作具体的流程、收费标准, 建立起餐厨垃圾管理和处置体系, 使餐厨垃圾处理可实施化[9]。北京等城市依据当地市容环境卫生条例的要求, 泔水不能与其他垃圾混倒、不得排入下水道, 并有专用车辆收集运输餐厨垃圾, 也可实现对集中餐饮业的餐厨垃圾进行集中收集处

理。但由于相关法律法规并不健全, 如对餐厨垃圾收运和处置过程的违法行为规定了处罚办法, 但并没有进行有效过程监管; 即使进行了罚款处罚, 但未明确款项用途和去向, 难以获得公众信服, 故居民参与和配合度也不高; 另外还存在相关配套设施不健全等问题。

2.2. 其他国家餐厨垃圾分类现状

发达国家对于生活垃圾的处理及资源化利用, 首先要面临的问题也是生活垃圾分类, 其中最重要的也是占比达 29%~60% [3] 的餐厨垃圾的分类及处理。

有机垃圾是美国生活垃圾的重要组成部分, 2014 年庭院垃圾与餐厨垃圾占到垃圾产生量的 28.2%。美国 1976 年开始实施的《资源保护及回收法》是美国固体废物和危险废弃物处理的基础法律, 与此配套, 美国环保局制定了上百个关于固体废物分类、收集、运输、处置回收利用的法规和指南等。20 世纪 90 年代, 美国联邦法规中明确规定了生活垃圾优先分级管理战略, 按照源头减量 - 循环再生利用 - 焚烧能源利用与处理处置的顺序进行管理, 强调源头减量及循环利用 [10]。为推动生活垃圾分类管理的顺利进行, 美国各地配套采用了多种政策与措施, 如垃圾区别收费制度、垃圾分类奖罚经济政策、税收优惠政策等。

日本是世界上循环经济立法最完善的国家, 其有关垃圾分类相关的法律法规十分完备。早在 1960 年, 日本为应对垃圾围城的现状, 提出了关于垃圾处理的 3R 行动, 即 Refuce (源头减量)、Reuse (物尽其用)、Recycle (回收利用) [11], 相继出台各种关于垃圾分类的对策及细则。日本法律明确规定了垃圾分类中各参与主体的责任, 政府除保证垃圾收集、搬运、中转等环节的正常运转及从事垃圾处理设施的维护、管理、运营等常规事务外, 还采取了一系列手段, 强化垃圾减量化、资源化分类及处理。由于生活垃圾中的餐厨垃圾含水率一般高于 80% [12], 对于餐厨垃圾的回收, 日本最早使用了源头沥水以及就地粉碎等小型厨房设备, 方便居民减量化处理。同时日本也有严格的垃圾生产者计量付费制度, 用以强化居民的垃圾减量化意识, 对于不按固定分类垃圾的惩罚措施也相当严苛, 最严重需要面临刑事处罚。

除美国和日本, 其他生活垃圾分类很成功的国家如德国、英国等, 都存在共同的特点: 1) 严格细化的垃圾分类法律法规, 奖惩分明; 2) 全社会各部门参与, 责任明确; 3) 重视公民垃圾分类及减量化意识的培养。

2.3. 我国餐厨垃圾分类存在的问题

虽然我国已在部分大城市强制实施生活垃圾分类, 但在实施过程中也存在很多阻力及急需解决的问题, 且在我国绝大多数地区还难以实现对居民日常生活垃圾、餐厨垃圾的有效分类和收集处理, 主要存在的问题有:

1) 法律法规不够健全; 目前, 在国家总体政策的指导下, 各地分别制定相关生活垃圾分类管理细则, 但法规多数不够细化, 缺少对垃圾生产者责任的约束, 不能建立很好的激励奖惩措施, 无法调动居民垃圾分类的积极性及责任感;

2) 政策执行缺乏监管、配套设施不完善; 生活垃圾分类过程中, 缺少有效的过程监管, 导致出现源头分类中端混合收集或终端混合处理等问题存在; 部分社区存在垃圾分类设施损坏或不足, 不能及时得到处理, 导致居民分类了垃圾却无处投放等现象出现;

3) 宣传不到位, 民众参与度与配合度不高; 虽然近年我国居民对环境问题的重视程度越来越高, 但主要体现在直观的水污染、大气污染等方面, 对每年数亿吨生活垃圾的处理难题知之甚少, 更不理解垃圾分类对生活垃圾减量和资源化利用的重大意义, 故参与及配合度始终不理想。

3. 现有餐厨垃圾处理技术及适用性

餐厨垃圾处理技术可分为非生物技术和生物技术两大类, 其中非生物技术主要包括填埋和焚烧, 生

物技术主要有好氧堆肥、厌氧发酵、生物柴油、饲料化等[13] [14]; 按餐厨垃圾处理过程控制考虑, 本文主要介绍源头减量/粉碎处理技术和终端处理技术以及相关处理设备。

3.1. 混合填埋和焚烧发电

餐厨垃圾由于含水率高、热值低等特点, 若能从生活垃圾分类中分离出来, 一般不会单独直接采用填埋或焚烧的处理方法。混合填埋和焚烧处理的餐厨垃圾多指未能实现与其他家庭生活垃圾分类的餐厨垃圾, 经市政环卫收集后统一运送至填埋场进行填埋处理或焚烧发电。这两种技术方法简便易操作, 但由于餐厨垃圾占生活垃圾比例高达 60% [3], 且餐厨垃圾中含水率达 80% [12], 热值低(仅为 2100 kJ/kg) [5], 导致混合填埋会产生大量的垃圾渗滤液, 成分复杂, 处理难度高, 环境风险大; 混合焚烧则易导致设备运行不稳定、运行成本高及产生二噁英等空气污染问题[3]。故针对餐厨垃圾的处理, 欧盟已经出台法令禁止了生活垃圾直接填埋处置[15], 德国、韩国以及美国超过 20 个州也禁止餐厨垃圾填埋[10]。尽管 2011 年在英国建成了世界首个全封闭式餐厨垃圾发电厂, 每天可处理 12 万吨垃圾, 发电 150 万千瓦, 可满足数万户家庭的用电需求[16], 但餐厨垃圾焚烧发电技术也因各地餐厨垃圾组分差异较大且预处理成本较高而很难普及使用。

3.2. 好氧堆肥

好氧堆肥是指在有氧条件下, 依靠好氧微生物, 包括细菌、真菌、放线菌等, 分泌胞外酶将底物中的有机固体分解为可溶性有机质, 再渗入微生物细胞中参与新陈代谢, 实现底物向腐殖质转化并最终达到腐熟稳定, 成为有机肥料的过程[17] [18] [19]。

好氧堆肥技术处理餐厨垃圾需要对原料进行一定的预处理, 如向餐厨垃圾里添加锯末秸秆等调节含水率[20]、加入草木灰或糖类废弃物等调节 pH 值和碳氮比等[21]。堆肥工艺过程中需要注意调节的因素一般为通风量和搅拌强度。根据堆肥形式的不同, 过程控制条件及堆肥时间也会有所不同。

大中型堆肥方式如堆垛式、槽式、静态容器式一般腐熟时间需要 5~10 天甚至 20 天以上, 周期相对较长, 适合集中处理城市统一收集的量大的大型餐饮企业、各单位食堂餐厨垃圾等;

小型堆肥方式如动态容器式、社区分布式堆肥设备一般周期较短, 低于 5 天或是可实现社区餐厨垃圾的日产日清, 大大的节约餐厨垃圾收集、运输过程成本, 实现餐厨垃圾的源头就地处理减量化和资源化。该种小型堆肥技术适用于社区餐厨垃圾的就地处理。

餐厨垃圾的分类收集是实施城镇居民餐厨垃圾就地堆肥处理实现减量化和资源化的前提。以我国最早强制实施生活垃圾分类的上海市为例, 部分小区里的湿垃圾处理“神器”即小型分布式好氧堆肥设备, 只需要每个月投放一次微生物基料, 每天可将 200 公斤湿垃圾降解成 10 公斤有机肥, 减量率可达 95%, 产生的有机肥还可供小区内居民自取用于种花种草或用于小区园林绿化, 实现餐厨垃圾的源头减量化处理和资源化利用[22]。

3.3. 厌氧发酵

厌氧发酵是在无氧或缺氧环境下, 利用厌氧菌群的作用, 将复杂大分子有机物降解转化为稳定小分子物质的过程。一般分为水解阶段、酸化阶段和产甲烷阶段三个阶段[23]。根据产物目标的不同, 餐厨垃圾厌氧发酵技术的研究和应用主要分为三大类: 挥发性有机酸(VFAs)、氢气和甲烷。

我国污水处理面临脱氮除磷效率低的问题, 主要原因之一是污水中有机物含量不足, 导致污水处理缺氧阶段碳源不足, 需要补充碳源以提高 C/N, 从而提高氮磷处理效率。但补充甲酸乙酸等常规碳源无疑大大增加了污水处理成本。有多项研究表明利用餐厨垃圾厌氧发酵获得的 VFAs, 可作为碳源补充于污

水处理厂缺氧阶段[23] [24] [25] [26] [27], 且已有研究成果实现规模化应用于处理量为 5.5 万吨/天的污水处理厂, 相比直接添加常规碳源, 可节约成本 50% [24]。

以上所述餐厨垃圾厌氧发酵产生 VFAs 的工艺, 需要调控发酵过程, 如加速水解阶段和抑制产甲烷阶段, 以最大限度的生产 VFAs。同理, 厌氧发酵产氢和产甲烷技术研究也需要调控微生物菌群、底物预处理方式、发酵工艺运行参数等[28] [29] [30]。国内外关于产氢和产甲烷技术工艺的研究一直都在进行, 相关领域研究人员尝试将餐厨垃圾与生活污泥、秸秆等废弃物共发酵, 并不断的追求工艺参数的优化, 以实现更高的能源转化率[31] [32] [33]。但普遍存在的问题是: 1) 厌氧发酵产气量低、产能不足, 导致投入产出比不高; 2) 过程监控和反馈控制薄弱, 导致设备故障频发, 停机时间长, 对发酵设备维护人员技术要求高[33]。

在国内餐厨垃圾资源化利用相关的专利申请中, 微生物发酵制备有机肥料、产氢气和甲烷的专利申请占总申请量的 80% 以上, 在国外申请中, 微生物发酵制备有机肥料、产氢气和甲烷的专利申请占总申请量高达 70% [34]。

对比好氧发酵和厌氧发酵两项技术的研发和应用现状可知, 目前餐厨垃圾厌氧发酵技术因其条件控制严格、运行维护技术要求高等特点, 仅适合大型专业机构或组织操作处理, 很难像好氧堆肥技术一样可以快速发展适合推广的小型原位就地处理设备。

3.4. 源头减量/粉碎处理技术

以实施生活垃圾强制分类的上海市为例, 目前上海市湿垃圾单日最高生产量已超过 9000 吨, 但现有湿垃圾日处理能力仅为 5000 吨左右, 且根据现有规划, 到“十三五”末, 上海湿垃圾的处置能力也只有 7000 吨/日左右[35]。因此, 如何实现餐厨垃圾源头减量是亟需解决的重要问题。

针对餐厨垃圾源头减量化处理, 目前的主要技术及设备类型包括以下两大类:

1) 餐厨垃圾沥水脱水处理

上文中提到餐厨垃圾含水率高达 80%, 如果能在餐厨垃圾产生的源头进行脱水处理, 可实现餐厨垃圾减量化, 进而缓解餐厨垃圾运输及后续处理等各环节的压力。在日本, 广泛推行一种简单实用的餐厨垃圾沥水器, 用于餐厨垃圾源头减量。针对该类型沥水器, 我国有相关试点研究结果表明, 居民使用该类型沥水器后(见图 1), 可实现餐厨垃圾减量率 15% 左右[3]。该种简易沥水器因其小巧方便、成本低等特点, 适于推广在家庭居民生活中使用。



Figure 1. Simple kitchen waste water dispenser (Pictures from the Internet)

图 1. 简易餐厨垃圾沥水器(图片来源于网络)

简易沥水器主要实现餐厨垃圾中自由水分的去除, 脱水减量效果很难有大幅度提高。粉碎后脱水处理设备是将餐厨垃圾粉碎后脱水, 出水直排污水管道中, 残渣收集后集中处理的设备(见图 2)。将餐厨垃

圾粉碎后挤压脱水无疑可以更好地实现减量化, 有些设备甚至可实现脱水后的餐厨垃圾碎渣中含水率仅为 10%左右[36]。但该类设备因其体积相对较大、使用需消耗电量及冲洗用水量增加等特点, 一般更适合饭店、菜场以及社区等餐厨垃圾生产量较大的机构使用, 很难在居民日常生活中普及使用。



Figure 2. Kitchen waste crushing and dewatering machine (Pictures from the Internet)
图 2. 餐厨垃圾粉碎脱水处理一体机(图片来源于网络)

2) 餐厨垃圾粉碎直排处理

餐厨垃圾中有机质含量极高, 前文中已有介绍将餐厨垃圾定向发酵生产污水处理厂碳源的研究, 因此, 如将餐厨垃圾粉碎直排, 不仅实现了餐厨垃圾的原位处理, 也可增加生活污水的可生化能力, 提高污水处理厂的脱氮除磷效率。目前在海外推广使用的餐厨垃圾处理机(food waste disposers, FWDs)是在家庭厨房洗菜盆排水口安装的小型餐厨垃圾粉碎后直排的处理设备(见图 3), 将家庭产生的餐厨垃圾粉碎后排入下水道, 实现餐厨垃圾即产即清, 保持厨房干净卫生, 同时可显著降低生活垃圾清运压力。FWDs 在美国 95%左右的州和城市推广使用, 欧洲和日韩等国也针对 FWDs 的使用效果进行了研究[3] [37] [38], 结果表明, 使用 FWDs 产生的电费和水费与家庭因此节约的生活垃圾处理费用相比可忽略不计, 但由于各地饮食习惯的不同, 导致餐厨垃圾组分差异较大, 如动物油脂含量较高, 可能会因其在管道中凝结堆积导致管道堵塞; 另外, 由于需对粉碎后的餐厨垃圾进行冲洗将导致居民用水量增加, 使得该技术不适合在缺水城市推广使用, 同时会增加污水处理厂的负担。



Figure 3. Food waste disposers FWDs (Pictures from the Internet)
图 3. 厨余垃圾处理机(图片来源于网络)

4. 建议及展望

综上所述, 目前我国餐厨垃圾分类收集效果甚微, 多数城市和地区仍未实现生活垃圾的有效分类, 且生活垃圾处理方式仍以焚烧和填埋为主, 但这两种处理方式对环境危害较大, 新项目选址和落地越来越困难, 加之现在在全国大力推广垃圾分类, 急需寻求更好的餐厨垃圾收集处理方案。餐厨垃圾问题涉及环境、经济和社会问题, 需要政府、企业及公民的共同参与。

首先, 政府需要强化立法管理, 进一步健全和细化法律法规体系, 完善生活垃圾分类及餐厨垃圾减量化和资源化处理相关的法规和技术标准。借鉴日本等国垃圾分类的成功经验, 明确环保、城管、卫生等各级管理部门责任, 重视企业参与, 强调垃圾产生者责任, 加强监管执行, 奖惩有度, 保证生活垃圾分类从源头到终端全过程有序进行。

其次, 重视宣传教育, 提高民众的餐厨垃圾分类和减量意识。重视社区宣传宣讲, 科普生活垃圾分类回收资源化利用的环境意义和重要性; 加强学校教育, 确保从幼儿园到大学学生都能树立正确的生活垃圾分类意识, 并用实际行动影响他人; 企业及公共场所等需严格按照要求执行, 如在食堂等公共用餐和餐厨垃圾产生量大的场合, 借鉴北京、厦门等地的食堂收残台运行方式, 个人用餐完毕后自行将餐具、剩菜、卫生纸依次分类放进不同的容器, 提高公民的分类意识, 人人一小步, 社会一大步。

最后, 针对餐厨垃圾减量化和资源化处理的技术措施, 应遵循因地制宜、同病异治的策略: 1) 对于居民家庭餐厨垃圾, 应大力推广普及使用家用简易餐厨垃圾脱水沥水器, 实现餐厨垃圾源头减量化处理; 此类沥水器还有待于进一步改进, 提高餐厨垃圾脱水水量; 2) 对于社区、菜场及餐馆等餐厨垃圾产量较大的场合, 建议使用粉碎脱水处理装备, 实现餐厨垃圾高效减量化, 结合使用小型好氧堆肥设备, 将餐厨垃圾就地资源化, 转变为有机肥料供居民及社区绿化使用, 真正实现餐厨垃圾不出社区, 日产日清; 3) 针对大型食品加工企业, 由于垃圾量大且成分相对稳定, 建议根据具体环境及工艺条件, 采用好氧堆肥、厌氧发酵等技术, 最终将餐厨垃圾转化为有机肥、廉价碳源(VFAs)或氢气、甲烷等清洁能源。

参考文献

- [1] 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018, 2019.
- [2] Yu, G.H., Tang, Z., Xu, Y.C. and Shen, Q.R. (2011) Multiple Fluorescence Labeling and Two Dimensional FTIR-¹³C NMR Heterospectral Correlation Spectroscopy to Characterize Extracellular Polymeric Substances in Biofilms Produced during Composting. *Environmental Science & Technology*, **45**, 9224-9231. <https://doi.org/10.1021/es201483f>
- [3] 梁卫坤, 祁光霞, 等. 城市生活垃圾分类处理技术模式综述[J]. 环境卫生工程, 2017, 25(4): 4-9.
- [4] 王丹阳, 弓爱君, 等. 北京市餐厨垃圾的处理现状及发展趋势[J]. 环境卫生工程, 2010, 18(1): 24-26.
- [5] 徐涛. 厨余垃圾生命周期评价——以深圳市为例[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [6] 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(6): 5-9.
- [7] 浙江在线. 2012 年杭州市区家庭生活垃圾分类工作纪实[EB/OL]. <http://hangzhou.zjol.com.cn/system/2012/12/06/018997383.shtml>, 2012.
- [8] 中国环境报. 深圳向城市垃圾全面宣战 提出多项治理目标[EB/OL]. <http://www.chinanews.com/ny/2012/12-14/4409461.shtml>, 2012.
- [9] 唐明毅. 长沙市厨余垃圾收运模式研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [10] 宋薇, 蒲志红. 美国生活垃圾分类管理现状研究[J]. 聚焦固废处理与处置, 2017(7): 63-65.
- [11] 搜狐. 你不了解的日本垃圾分类发展史[EB/OL]. https://www.sohu.com/a/329333798_99960484.Html, 2019-07-25.
- [12] 黄欣怡, 张珺婷, 等. 餐厨垃圾资源化利用及其过程污染控制研究进展[J]. 化工进展, 2016, 35(9): 2945-2951.
- [13] 牛颖, 吴传鑫. 餐厨垃圾处理技术的研究进展[J]. 山东化工, 2016, 45(21): 64-65.

- [14] 毕少杰, 洪秀杰, 等. 餐厨垃圾处理现状及资源化利用进展[J]. 中国沼气, 2016, 34(2): 58-61.
- [15] 邵蕾. 厨余垃圾家庭好氧生物处理研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [16] 曾宇. 城市餐厨垃圾处理现状概述[J]. 科技经济导刊, 2017(14): 9-11.
- [17] 席北斗, 孟伟, 等. 三阶段控温堆肥过程中接种复合微生物菌群的变化规律研究[J]. 环境科学, 2003, 24(2): 152-155.
- [18] 邵孝侯. 农业环境科学[M]. 南京: 河海大学出版社, 2005: 152-155.
- [19] 蔡旺炜, 陈俐慧, 等. 我国城市厨余垃圾好氧堆肥研究综述[J]. 中国土壤与肥料, 2014(6): 8-13.
- [20] 席北斗, 刘鸿亮, 等. 厨余垃圾堆肥蓬松剂技术研究[J]. 安全与环境学报, 2003, 3(3): 41-45.
- [21] 邵蕾, 周传斌, 等. 家庭厨余垃圾处理技术研究进展[J]. 中国人口·资源与环境, 201(21): 414-418.
- [22] 上观新闻. 上海小区里的湿垃圾处理“神器”: 每天吞下 200 公斤湿垃圾, 降解成有机肥[EB/OL]. <https://web.shobserver.com/news/detail?id=164370>, 2019-07-19.
- [23] 韩金峰, 张书廷. 部分固体废弃物作为外加碳源的研究进展[J]. 环境工程, 2015, 33(4): 108-111.
- [24] 中国环境报. 餐厨垃圾可用于污水处理?[EB/OL]. http://epaper.cenews.com.cn/html/2016-12/20/content_53907.htm, 2016-12-20.
- [25] 胡真虎, 戚莎莎, 等. 一种利用餐厨垃圾生产废水反硝化溶解性碳源的方法[P]. 中国专利, 201410628408.3. 2016-11-23.
- [26] 李堯. 利用菜场和厨余垃圾厌氧发酵产酸研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- [27] 刘建伟, 何岩. 餐厨垃圾两相厌氧发酵技术研究和应用进展[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(6): 188-196.
- [28] 席江, 梅自力, 等. 预处理对餐厨垃圾厌氧消化的影响研究进展[J]. 环境工程, 2016, 34(6): 140-145.
- [29] 刘新媛, 鲍振博, 等. 餐厨垃圾厌氧发酵制氢技术的研究进展[J]. 天津农学院学报, 2017, 24(2): 95-99.
- [30] 黄小英, 黄涛, 等. 基于餐厨垃圾的多基质协同厌氧发酵产气研究进展[J]. 四川环境, 2017, 36(z1): 170-9173.
- [31] Hagos, K., Zong, J.P., Li, D.X., Liu, C. and Lu, X.H. (2017) Anaerobic Co-Digestion Process for Biogas Production: Progress, Challenges and Perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **76**, 1485-1496. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.184>
- [32] Yun, Y.M., Lee, M.K., Im, S.W., Marone, A., Trably, E., Shin, S.R., Kim, M.G., Cho, S.K. and Kim, D.H. (2018) Biohydrogen Production from Food Waste: Current Status, Limitations, and Future Perspectives. *Bioresource Technology*, **248**, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.107>
- [33] Clercq, D.D., Wen, Z.G., Fan, F. and Caicedo, L. (2016) Biomethane Production Potential from Restaurant Food Waste in Megacities and Project Level-Bottlenecks: A Case Study in Beijing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **59**, 1676-1685. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.323>
- [34] 王静, 陆万祥. 餐厨垃圾资源化专利技术综述[J]. 河南科技, 2017(16): 58-59.
- [35] 全国能源信息平台. 上海湿垃圾末端处置压力大 小区分布式设备需堪用[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1656154366542330293&wfr=spider&for=pc>, 2020-01-19.
- [36] 同建辉, 赵奎奎. 一种餐厨垃圾脱水装置[P]. 中国专利, 201822214289.3. 2019-11-26.
- [37] Bolzonella, D., Pavan, P., Battistoni, P. and Cecchi, F. (2003) The Under Sink Garbage Grinder: A Friendly Technology for the Environment. *Environmental Technology*, **24**, 349-359. <https://doi.org/10.1080/09593330309385567>
- [38] 程喆. 厨余发酵液作为外增碳源强化污水处理中脱氮的规律研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.