

餐厨垃圾处理技术研究进展

张洪铭, 秦蔚

四川省环境政策研究与规划院, 四川 成都

收稿日期: 2022年7月7日; 录用日期: 2022年8月8日; 发布日期: 2022年8月17日

摘要

餐厨垃圾高有机质、高含水率、高含盐量的特点, 使其一方面具有资源化的价值, 但处置不恰当又容易引发一些环境问题。本文综述了目前餐厨垃圾的主流处理技术: 直接处理法、饲料化、好氧堆肥、厌氧发酵、联合生物加工法。总结各技术的优缺点, 发现联合生物加工法“三化”程度高, 技术先进, 占地面积小, 处理时间短, 带来较高的经济效益。

关键词

餐厨垃圾, 联合生物加工法, 处理技术

Research Progress of Kitchen Waste Treatment Technology

Hongming Zhang, Wei Qin

Sichuan Academy of Environmental Policy and Planning, Chengdu Sichuan

Received: Jul. 7th, 2022; accepted: Aug. 8th, 2022; published: Aug. 17th, 2022

Abstract

The characteristics of high organic matter, high moisture content and high salt content in kitchen waste make it valuable as a resource on the one hand, but inappropriate disposal can easily lead to some environmental problems. This paper reviews the current mainstream treatment technologies for kitchen waste: direct treatment, feed, aerobic composting, anaerobic fermentation, and combined bioprocessing. Summarizing the advantages and disadvantages of each technology, it is found that the combined bioprocessing method has a high degree of “three transformations”, advanced technology, small footprint, and short processing time, which brings higher economic benefits.

Keywords

Food Waste, Combined Bioprocessing Method, Treatment Technology

Copyright © 2022 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

餐厨垃圾又名厨余、泔水、泔水等,顾名思义就是人们日常生活中餐饮垃圾和厨余垃圾的统称。企事业单位食堂、营业性质餐厅、居民住宅区等地均为餐厨垃圾的主要产生场所。餐厨垃圾作为城市有机生活垃圾的主要成分[1],成分十分复杂,主要包括人们没有吃完的剩饭剩菜、果壳果皮、还包括砂砾、废餐具等杂质。餐厨垃圾的特征主要是:1) 含水率达70%以上,甚至高至95%;2) 有机物含量高,主要包括淀粉、纤维素、脂肪等,其干基含量占3/4左右;3) 含盐量高,大概维持在1%;4) 含N、P、K等微量元素;5) 易存在病原菌、细菌等,可通过食物链传播引发疾病;6) 易腐烂发霉、滋生细菌、散发恶臭、污染环境。

近年来,随着生活水平的提高,餐厨垃圾产生量逐年增加。为积极响应“无废城市”的号召,对于餐厨垃圾实现“无害化、减量化、资源化”处理技术提出了新的要求。目前餐厨垃圾的主流处理技术有直接处理法、饲料化、好氧堆肥、厌氧发酵、联合生物加工法等。下面将会对这些技术进行一些对比分析,并总结各技术的优缺点。

2. 直接处理法

餐厨垃圾直接处理技术包括焚烧法、填埋法及破碎直排法[2]。相较于其他处理方法来说,此方法只是对餐厨垃圾进行了简单的处理,并没有做到垃圾的资源化,让原本可以产生经济价值的垃圾失去价值。

2.1. 填埋

填埋法是利用微生物实现降解的一种最基础也是最常见的处置方法。产生的餐厨垃圾由专门的垃圾收运车收集转运,通过简单的脱水、除油之后转运至专门的垃圾填埋场。填埋法的优点是投资小,操作简单易行,适用范围广,但是缺点也是显而易见的,一般填埋场所需占地面积较大,餐厨垃圾中有机物含量高,极容易腐败变质产生臭气污染周围的空气,并且如果填埋场的防渗透出了问题,产生的渗滤液将会渗入地下水和土壤系统中造成无法估量的损失。

2.2. 焚烧

焚烧是在900°C~1000°C的高温条件下,通过焚烧餐厨垃圾中的可燃物组分进行氧化分解,从而实现餐厨垃圾的减量化,焚烧后残余物质量只剩余20%左右,体积缩减至10%左右,很好的实现了餐厨垃圾的减量化程度[3]。焚烧法的优点是它的处理厂占地面积较小,减量化明显,焚烧过程中产生的能源可用于发电和供暖。但不足的是由于餐厨垃圾中含有大量的水分,使得焚烧过程并没有那么轻松,需要消耗大量的燃料来处理,直接地增加了成本,且如果焚烧过程中存在燃烧不充分的情况,还可能会产生一些其他二次污染物,排入大气中会严重影响环境。

2.3. 破碎直排

破碎直排即对餐厨垃圾经机械破碎、水力冲刷、进入市政下水管网,最后汇集到城市污水处理厂集

中处理的一种方法。在现阶段, 破碎直排法主要应用在欧美发达国家, 针对少量的、分散的餐厨垃圾进行的一种处理方式, 优点在于操作简便, 价格便宜。由于中西方饮食结构的不同, 中西方餐厨垃圾特性也大不一样, 我国高油脂、高盐分的餐厨垃圾若采用破碎直排法会增加城市污水厂的运行负荷, 且我国市政污水管网早年间并没有考虑餐厨垃圾破碎液, 其管径较小, 可能会造成污水管网的淤积堵塞、发臭、滋生细菌等。另外破碎直排法实质上是将其转换成了废水的处理, 由于餐厨垃圾中含有高盐与高油脂, 势必对生活污水的处理带来较大的挑战[4]。

3. 饲料化

餐厨垃圾中含有许多蛋白质、脂肪及其他有机物等营养成分, 采用饲料化处理技术会有着很高的利用价值。就目前来说, 饲料化处理技术主要分为三类: 干式饲料、蛋白饲料和昆虫转化技术[5]。

干式饲料主要是脱水处理法, 经过高温杀菌、脱水形成饲料。含水率和杂质率都有了明显的降低。这项工艺的主要优点就是处理技术简单, 不需要太多的人力物力, 但它的缺点也十分明显, 处理工艺单一、效率低下, 动物源性成分未完全降解, 会导致同源性污染, 引发不必要的传染性疾病, 比如 20 世纪末由同源性动物蛋白饲养引发的疯牛病, 因此绝大部分的干式饲料用于其他工艺的预处理阶段。

蛋白饲料主要以生物发酵和昆虫养殖为主。所谓生物发酵法即通过筛选对发酵有益的菌种进行发酵产生优质饲料的一种方法。陈建乐[6]等将餐厨垃圾破碎脱水后, 接种酵母和微生物菌种进行固体发酵处理后制备了一种高钙多维酵母蛋白饲料。但生物发酵法同样有着同源性污染的可能, 且寻找有益菌种十分困难, 培养菌种麻烦, 处理技术单一, 不能大规模的生产。昆虫转化技术也是一种较为流行的饲料化处理技术, 即将经过预处理得到物料投放给昆虫, 昆虫食用物料产生粪便, 并且自身也富含丰富的蛋白质和脂肪, 用于鱼饲料和鸡饲料。目前应用于餐厨垃圾处理的昆虫主要是黑水蝇, 经过黑水蝇处理餐厨垃圾, 其中蛋白质、脂肪、N、P 的含量有了显著的降低[7]。李鑫[8]的研究表明, 黑水蝇生物转化过程主要是通过摄食餐厨垃圾中的蛋白质、脂肪和碳水化合物, 并且黑水蝇虫粉中氨基酸和脂肪酸含量远高于其他饲料。黑水蝇转化餐厨垃圾技术具有不携带病菌, 不入侵人类居住环境, 取食范围广等优点, 但就昆虫养殖而言, 其处理的环境差, 会产生臭气。

4. 好氧堆肥

好氧堆肥的定义是指在广泛的自然界当中, 存在大量的真菌、细菌、放线菌等, 在一定的温度和氧气条件下, 将餐厨垃圾中的可降解有机物质转变为稳定的腐殖质的过程[9]。目前好氧堆肥主要应用在城市生活垃圾、养殖场禽类粪便的处理当中, 因为这类垃圾中的有机质含量高, 使用此方法可以很好的进行垃圾的资源化与无害化。好氧堆肥一般分为低温、中温、高温三个阶段, 每个阶段都有不同的优势菌种来发挥作用, 高温阶段是堆肥反应最快的阶段。餐厨垃圾的好氧堆肥与工艺参数(含水率、粒径、碳氮比、添加剂、温度、通风供养、搅拌翻堆)和堆肥方式(条垛式堆肥、静态强制通风堆肥、密闭容器堆肥)密切相关[10]。堆肥过后的产物可以给田里的农作物或者是花草树木用来做肥料。

好氧堆肥实现了餐厨垃圾的资源化, 发挥了它应有的价值, 技术简便易操作, 但不足的是好氧堆肥的堆肥时间过长, 同时餐厨垃圾含有一定的重金属和盐分, 导致土壤存在一定的盐碱化风险, 在堆肥过程中会产生一定的氨气、硫化氢、甲烷等有害气体, 如控制不当会造成一定的环境污染[11]。

5. 传统厌氧发酵

厌氧发酵也叫厌氧消化, 是目前为止在国内外应用最为广泛的一种餐厨垃圾处理方法。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[12]。张玉静[13]研究结果显示, 利用 CSTR 反应器处理餐厨垃圾, 间歇式进料、中温条件、 $\text{pH} = 6$ 时, 对餐厨垃圾的水解酸化作用最好, 挥发性脂肪酸是其主要产物。值得注意的是单相厌氧消化工艺简单, 应用最广, 比起这种工艺, 两相厌氧消化工艺缩短了消化的时间、显著地增加了总产量, 具有更高的稳定性[14]。

厌氧消化技术优点在于处理技术在当前较为成熟, 处理效率和经济效益高, 可以带来相对应的产品价值[15]。可是, 餐厨垃圾的 C/N 低, 厌氧体系易产生酸抑制或氨抑制。因此比起纯粹地处理餐厨垃圾, 更适合与厨余垃圾、家禽粪便、污泥、农作物秸秆等物质进行协同厌氧消化处理, 同时实现不同废弃物的资源化处理。另外系统的副产物沼渣, 养分充分全面, 是较好的土壤改良剂和有机肥料。若土地利用, 脱水、气味、微生物病原体等问题, 依旧对环境有一定的危害。

6. 联合生物加工工艺

中国工程院刘人怀院士带领团队创新开发了餐厨废弃物“联合生物加工工艺”的专利技术, 此项技术的核心在于通过“噬污酵母”将经过破碎、分选、灭菌的餐厨垃圾, 进行温和的生物发酵, 联产出燃料乙醇、生物柴油、高蛋白饲料等多种高附加值产品, 剩下的盐和水经过处理后达标排放[16]。经过联合生物加工工艺流程成功将餐厨废弃物转化为非粮乙醇、工业油脂、粗蛋白粉(酒糟酵母粉)、RDF(生物质燃料棒)等资源化产品, 具有较强的经济附加值, 对餐厨废弃物的资源化处置利用率达到 90%以上, 此方法能在 24~36 小时内完成厨余垃圾“零排放、零废弃、全处理”的效果, 且处理时间是传统厌氧发酵工艺的十五分之一, 占地小、处理时间短、经济和环保效益高, 并且可以无差别的分解各类餐厨垃圾, 它还耐高盐、耐恶臭、具有很强的生命力。

7. 总结

综上所述, 几种方法各有优缺点, 适宜与不同的条件、场合, 总结如下表 1 所示。

Table 1. Advantages and disadvantages of kitchen waste treatment technology

表 1. 餐厨垃圾处理方法优缺点

处理方法	优点	缺点
饲料法	工艺较为简单, 可以得到动物吃的饲料	能否给动物安全食用还有一定争议
好氧堆肥法	垃圾的资源化程度较高, 产品的产出价值也高。	堆肥设施占地面积大, 处理的时间比较长, 堆肥过程影响因素过多, 且容易产生臭气污染环境。
厌氧发酵法	能够得到甲烷等清洁能源, 无害化较好、资源化一般, 技术比较成熟。	占地面积过大, 发酵时间太长, 产量不太稳定, 经济效益较低, 产生的沼液、沼渣难处理。
直接处理法	成本低廉, 操作简便, 易于管理, 且处理量大。	容易引起二次污染, 对环境的影响比较大。
联合生物加工工艺	“三化”程度高, 带来较高的经济效益。技术先进, 占地面积小, 处理时间短, 无二次污染。	目前还处于实验推广阶段, 技术上面还不太成熟, 需要一定的时间来验证。处理量较小, 还需进一步优化。

2019 年, 全国餐厨垃圾产生量突破 1.2 亿吨, 从 2015 年到 2020 年, 我国餐厨垃圾处理能力及处理率逐年增加。放眼全球, 餐厨垃圾产生量也是节节升高, 处理之路人而道远。各个国家在掌握餐厨垃圾污染特性后, 纷纷制定相应的处理方案。首先是出台相关法规制度来减少餐厨垃圾的产生量, 再推行餐厨垃圾实现资源化利用的标准方法, 并且健全垃圾分类制度, 最后建立专门的餐厨垃圾处理厂统一进

行收集处理。

在过去,人们只看到了厨余垃圾的危害性,并没有看到它其实也具有高度的资源性,但随着社会的发展,餐厨垃圾所具有的价值逐渐被发掘出来了。目前实现餐厨垃圾绿色高效资源化处理已经成为国内外的处理要点,针对餐厨垃圾的处理我们需要遵循多管齐下、因地制宜的原则。

基金项目

一种城市家庭生活垃圾智能分类收集设备制造及应用示范(2020JDZH0028);
基于碳中和的城市居民厨余垃圾资源化利用技术应用示范(2022JDZH0018)。

参考文献

- [1] 刘会友,王俊辉,赵定国. 厌氧消化处理餐厨垃圾的工艺研究[J]. 能源技术, 2005(04):150-154.
- [2] 王义文, 周丽杰, 宋锦东, 付鹏强. 餐厨垃圾处理技术综述[J]. 现代制造技术与装备, 2020(6):173-175.
- [3] 常燕青, 朱丽可, 张乐乐, 常中龙, 于强, 吴海锁. 典型餐厨垃圾处理实用技术探讨[J]. 山西建筑, 2021, 47(12): 1-3.
- [4] 谢炜平, 梁彦杰, 何德文, 邹原. 餐厨垃圾资源化技术现状及研究进展[J]. 环境卫生工程, 2008, 16(2):43-45+48.
- [5] 邓俊. 餐厨垃圾无害化处理与资源化利用现状及发展趋势[J]. 环境工程技术学报, 2019, 9(6): 637-642.
- [6] 陈建乐. 一种餐厨有机垃圾生物处理方法[P]. 中国专利, CN1480267. 2004-03-10.
- [7] 尹靖凯, 龚小燕, 孙丽娜, 韩梦琦, 杨渊, 徐晓燕, 等. 黑水虻对餐厨垃圾养分转化研究[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(6): 154-159.
- [8] 李鑫. 黑水虻生长条件优化及处理餐厨垃圾的效能研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2021.
- [9] 胡新军, 张敏, 余俊锋, 张古忍. 中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策[J]. 生态学报, 2012, 32(14): 4575-4584. <https://doi.org/10.5846/stxb201106210914>
- [10] 盛维杰, 靳晨曦, 李光明, 杨殿海. 厨余垃圾好氧堆肥技术研究进展[J]. 上海节能, 2021(6): 554-563.
- [11] Evgheni, E., Cecilia, S., Mikael, P., Smårs, S. and Jönsson, H. (2019) Effects of Moisture on Emissions of Methane, Nitrous Oxide and Carbon Dioxide from Food and Garden Waste Composting. *Journal of Cleaner Production*, **240**, Article ID: 118165. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118165>
- [12] 韩金峰, 张书廷. 部分固体废弃物作外加碳源的研究进展[J]. 环境工程, 2015, 33(4): 108-111.
- [13] 张玉静, 蒋建国, 王佳明. pH 值对餐厨垃圾厌氧发酵产挥发性脂肪酸的影响[J]. 中国环境科学, 2013, 33(4): 680-684.
- [14] 刘安琪, 夏港, 关昊为, 徐冬红, 成潜, 张静. 餐厨垃圾厌氧消化的研究进展和趋势[J]. 绿色科技, 2020(22): 94-96.
- [15] 张高美, 李秋仪, 蔡志金. 餐厨垃圾处理技术现状与发展趋势[J]. 智能城市, 2020, 6(12): 164-165.
- [16] 韦斗斗, 高妍. 向餐厨垃圾“宣战”——刘人怀院士团队“餐厨垃圾联合生物加工处理技术”产业化落地纪实[J]. 科技创新与品牌, 2019(2): 8-13.