

# 国内外餐厨垃圾处置现状及工艺技术探讨分析

廖德荣, 陈严华, 曾 蒸

重庆市环卫集团有限公司, 重庆 401121

**【摘要】**本文介绍了美国、欧盟、日本、韩国等发达国家的餐厨垃圾处置技术及应用情况, 以及对国内部分城市的餐厨垃圾处置技术及现状进行了介绍, 并对国内餐厨垃圾处置采用的主要工艺技术、工艺流程进行了简要介绍及其工艺的优劣势进行了探讨分析。再根据生活垃圾分类政策的推动和进程的加快, 餐厨垃圾的未来的特性将会发生改变, 因此对特性发生改变的餐厨垃圾处置应采用的工艺技术提出见解及思路, 以期对餐厨垃圾处置工艺技术研究提供借鉴和参考。

**【关键词】**餐厨垃圾; 现状; 工艺技术

**【中图分类号】**F719;X799 **【文献标识码】**A **【DOI】**10.12325/j.issn.1672-5336.2022.21.042

## 引言

餐厨垃圾因其不同地域成份相差较大, 处理工艺也有一定的差异。欧洲等发达国家具有较为先进的餐厨垃圾处置工艺技术, 日本和韩国经过发展, 餐厨垃圾处置工艺也成熟, 国内餐厨垃圾处置工艺技术经过不断的技术创新和经验积累运行已经十分稳定。后文对美国、欧盟、日本、韩国、国内典型城市的餐厨垃圾处置情况进行了分析简述, 并对国内餐厨垃圾处置采用的主要工艺技术包括厌氧发酵、直接烘干作饲料、微生物生化处置技术(即堆肥技术)和昆虫源蛋白饲料生物转化技术进行了分析探讨。

## 1 国外餐厨垃圾技术应用状况

### 1.1 美国餐厨垃圾处置情况

美国 2018 年厨余垃圾(含餐厨垃圾)的总产生量为 6313.21 万吨, 占生活垃圾的 21.6%, 采用的处置模式主要有填埋、厌氧消化、好氧堆肥、进入下水管网/污水处理等。由于美国是根据家庭为单位产生的餐厨垃圾量为基础, 来进行收取垃圾处置费, 若家庭因人数较多而产生的餐厨垃圾就越多, 付出的垃圾处置费就越高, 因此造就了以家庭为处置单位的方式就越多。大多数家庭采用了以堆肥的处置方式来处置家庭厨余垃圾, 还有一些家庭采用小型破碎机破碎后直接进入下水管道, 因而大规模地集中处置餐厨垃圾的模式较少。还有部分专家学者担忧饲料的同源性, 高度关注了动物饲料的使用范围, 并对其进行了范围扩大, 前期禁用动物脊髓和脑组织, 扩大至猪、猫、狗以及喂养饲料等, 确保了食品安全。从而限制了美国餐厨垃圾用作饲料的工艺技术发展。

### 1.2 欧盟国家餐厨垃圾处置情况

在欧盟的部分国家, 已经明确了法律法规不能将餐厨垃圾进行填埋处置。于 2003 年开始实行的动物副产品条例, 严禁在饲料生产中使用同类动物的任何部位, 严禁向毛皮类动物以外的牲畜喂厨房泔水<sup>[1]</sup>, 因为餐厨垃圾是由各种动物的肉类、皮类组织和骨头等其他物质混在一起的混合物, 不能精确分离出来, 由这些原料制作成的饲料用在动物食链上确实存在同源性食品安全问题。据了解, 目前欧洲国家采用厌氧处置可生物降解的固废垃圾的量大约占 3%, 尽管厌氧消化处置规模不断增加, 但好氧堆肥仍然是欧洲处置城市有机固废的主要方式(处置约 7% 的家庭有机固废)。

### 1.3 日本餐厨垃圾处置现状

日本每年生活垃圾(包括商业垃圾)的总量为 5000 万 t, 其中餐厨垃圾为 2000 万 t, 占生活垃圾总量的 40%。在餐厨垃圾中, 18% 来自食品加工业, 30% 来自食品销售渠道和酒店, 52% 来自家庭<sup>[2]</sup>。日本的餐厨、厨余等食品废弃物在过去主要采用填埋法和堆肥法进行处置。根据处置技术的发展, 近年来出现了主要包含利用餐厨、厨余等食品废弃物厌氧产生生物沼气和生产动物饲料, 其中厌氧发酵生产生物沼气发展较为迅速, 得到应用较快。

### 1.4 韩国餐厨垃圾处置现状

1995 年韩国对餐厨垃圾的管理进行立法, 餐厨垃圾的回收利用率由 2% 提高到 21%。后期餐厨垃圾采用填埋法进行处置, 进而产生了较大的臭气和大量的渗滤液问题导致从 2005 年起限制餐厨垃圾进入填埋场的处置方式。再随着技术的发展, 餐厨垃圾处置方式主要采用厌氧发酵产沼气和制作饲料。近年来, 由于对生产安全环保的要求更加严格和对饲料源头抓得更加仔细, 因此在

**作者简介:**廖德荣(1986—), 男, 汉族, 重庆市忠县, 本科, 工程师, 主要从事固废垃圾无害化处置及资源化利用研究、生产运营管理工作。

部分程度上限制了餐厨垃圾生产饲料的工艺技术的发展。

## 2 国内餐厨垃圾处置现状

根据 2021 年《中国统计年鉴》，2020 年中国产生了约  $2.35 \times 10^8$  吨城市固体废物，其中餐厨垃圾产量约占城市固体废物的 50% ~ 60%<sup>[3]</sup>，随着国内对有机固废垃圾处置的重视，目前国内餐厨垃圾处置已投入运行应用的项目案例较多，现对部分项目的案例简介如下。

### 2.1 重庆

重庆的餐厨垃圾的特点是含水率高、高含油、高含盐量。整个重庆市已经建成多个有机固废厌氧发酵处置工程，总处置规模超 3000t/d，主要包括主城区洛碛餐厨垃圾处置工程，餐厨垃圾处置规模为 2100t/d，是国内目前在运行的规模最大的餐厨垃圾处置工程。2020 年建成投用，采用的是单相、高温湿式厌氧发酵工艺。黑石子餐厨垃圾处置工程，总处置规模为 1000t/d（已停用）；黔江区餐厨垃圾处置工程，处置规模为 150t/d，2017 年建成投用；涪陵区餐厨垃圾处置工程，处置规模为 150t/d，2018 年建成投用；合川区餐厨垃圾处置工程，处置规模为 150t/d，2019 年建成投用，永川区餐厨垃圾处置工程，处置规模为 300t/d；綦江区餐厨垃圾处置工程，处置规模为 150t/d，采用的均是单相、高温湿式厌氧发酵工艺。此外，还有开州餐厨垃圾处置工程规模为 100t/d，江津餐厨垃圾处置工程规模为 200t/d，采用中温湿式厌氧发酵工艺。

### 2.2 北京

北京市生化设施 23 座，处置能力为 8130t/d。高安屯餐厨垃圾处置厂，主要处置东北部城区餐厨垃圾，规模 400t/d，建设于朝阳区金盏乡高安屯垃圾处置中心厂内，采用复合微生物高温好氧技术，终端产品微生物菌剂。董村分类垃圾处置厂，建设于通州区台湖镇董村，处置有机垃圾主要为有机液态垃圾和餐厨垃圾，规模为餐厨垃圾 200t/d，或者有机液态垃圾 100t/d 和餐厨垃圾 100t/d。南宫餐厨垃圾处置厂，建设于南宫生活垃圾堆肥厂内，规模 200t/d，采用餐厨垃圾 + 卸料给料 + 固液分离，液相进行厌氧消化，固相进入堆肥一次发酵仓的工艺技术。石景山餐厨垃圾厂，设计规模 200t/d（150t/d 分类收集的厨余 + 50t/d 餐厨），采用预处置 + 厌氧消化工艺技术，产品为生物质沼气、脱水沼液和脱水沼渣，沼气用于发电，沼渣好氧发酵后制成营养土，沼液进行处置。

### 2.3 宁波

宁波市餐厨垃圾的收运主要由宁波绿环化工公司等 4 家企业负责，开诚生态技术公司负责无害化、资源化。开诚生态技术公司建设的餐厨垃圾资源化利用厂位于宁波市鄞县大道古林段，设计餐厨垃圾处置能力 400t/d + 废弃食用油脂 40t/d（制粗油脂），餐厨垃圾采用接料斗

+ 分选除杂 + 厌氧消化 + 沼气脱硫工艺（沼气净化放置到厨余垃圾处置厂内合并处置），废弃油脂采用除杂 + 分离水的制粗油脂工艺。

### 2.4 苏州

苏州市工业园区餐厨垃圾处置厂，通过特许经营方式委托华衍环境产业发展有限公司建设运营，设计规模餐厨垃圾 300t/d、垃圾压滤液 100t/d 和绿化垃圾 100t/d，餐厨厂的沼气经过提纯后，输入港华燃气管网，污水经预处理后接入污水厂。苏州市洁净废植物油回收有限公司 2009 年建设了吴中区环保静脉产业园，包含餐厨垃圾规模 100t/d，共计投资 8200 万，采用“预处理 + 热水解 + 固液两相分离工艺，固相残渣于生物发酵生产蛋白饲料的原料，液相进行油水分离，水相进行厌氧发酵产沼气，粗油脂生产生物柴油。苏州高新区餐厨废弃物处置项目由苏州华益洁环境能源公司投资、建设、运营，项目位于高新区浒墅关镇，总规模 600t/d，总体工艺采用“预处理 + 厌氧发酵沼气 + 堆肥”的技术方案，项目分两期建设，该项目 2020 年被浙江旺能生态科技有限公司收购。

## 3 餐厨垃圾处理工艺技术解析

厌氧消化制气、直接烘干作饲料、微生物生化处置技术（即堆肥技术）和昆虫原蛋白饲料生物转化技术是餐厨垃圾处置的主要工艺技术，详细解析如下。

### 3.1 厌氧发酵技术

厌氧发酵技术是有机物在无氧的环境下进行分解和降解的过程，经过不同的微生物发生水解、酸化和产甲烷阶段，最后得到二氧化碳和甲烷、水蒸气、硫化氢等。在厌氧消化罐中存在各种厌氧微生物，微生物主要受营养条件和环境条件息息相关，罐中的各种微生物通过其自身的生产活动完成厌氧消化产沼气的整个过程。反应过程的主要环境因素为 pH、温度、碳氮比、Ni、Co、Mo 等微量元素以及对微生物产生有毒物质的允许浓度等。厌氧发酵流程主要包含接受及预处理、厌氧消化等系统。

#### 3.1.1 接受及预处理

餐厨垃圾到卸料斗卸料后，首先经过分选除杂的预处理，以保证厌氧消化系统的稳定性。一般预处理包括接收斗、分选除杂、破碎制浆等流程。

#### 3.1.2 厌氧消化

厌氧消化反应器可以采用推流式反应器和完全混合式反应器。由于不同的厌氧微生物的活性适应温度不一样，厌氧反应器的温度一般采用  $35 \pm 3^\circ\text{C}$  和  $55 \pm 3^\circ\text{C}$ ，厌氧消化罐外部需要保温和隔热措施，防止温度散失。餐厨垃圾厌氧消化罐内应设置搅拌措施，防止产生浮渣和沉砂，搅拌方式可采用机械搅拌和罐内气体搅拌。餐厨垃圾在产气（甲烷）之前，先有一个水解酸化的过程，然后才产甲烷，一般采用先水解酸化、再厌氧发酵的两阶段发酵工艺。

#### 3.1.3 厌氧消化技术优缺点

优点是无同源性情况, 无害化程度高, 抗冲击缓存能力强、产生可再生能源、有机物分解成为甲烷和二氧化碳, 产品气好利用。缺点是工艺复杂、产生的污水量大、投资高。

### 3.2 烘干饲料化技术

烘干饲料化技术是垃圾经过预处理和固液离心分离后得到固相和液相部分, 其中固相可烘干生产饲料, 也可采用堆肥工艺生产肥料, 液相是含有较高油的废水, 需进一步进行油和水分离, 油相是经济价值较高的产品, 水相进入污水处理系统。生产饲料和肥料的工艺路线大相径庭, 只是最终的产物不同。生产饲料工艺路线将餐厨垃圾进行高温杀毒、加热灭菌, 烘干除盐等工序, 采用的是物理方法, 最终产生再生水、蛋白饲料添加剂等产物。主要包括接受及预处置、机械脱水、烘干、后处置系统等

#### 3.2.1 垃圾接受及预处理系统

预处理的作用是餐厨垃圾中一次性筷子、塑料袋、瓶子等大件杂质分离出来, 含固率较高可以直接填埋, 去除杂质保障设备运行的稳定和连续性。

#### 3.2.2 机械脱水

预处理后的物料需要进行两相固液分离, 分离出来的固相进行加热烘干利用, 含油较高的废水经过提油后废水进入处理系统处理后排放。

#### 3.2.3 烘干

经过机械脱水后的固相达到烘干的工艺步骤, 烘干采用的是密闭间接的加热方式, 保障臭气不外溢以及物料中的可需要的营养物质完好保持和杀菌效果明显, 加热温度控制在 90℃ -120℃ 之间。该步骤完成需进行降温 and 筛分处理, 最终得到含水量低于 13% 的蛋白饲料添加剂。

#### 3.2.4 后处理系统

后处理系统主要是将前期工艺中剩余的玻璃、金属块、骨头等细小重物质分选出来, 保障原料质量。

#### 3.2.5 制饲料技术的优缺点

优点是资源化程度高、工艺流程短、产品有农用价值, 占地面积小。缺点是难以将重金属以及部分有害有机物有效分离出来, 无害化不彻底, 不能从根本上解决餐厨垃圾同源性的问题, 对其生产饲料存在一定的后顾之忧; 环境管控难度大, 可能会出现二次污染。

### 3.3 生化处理技术

微生物生化处理技术主要由堆肥工艺发展起来, 在有氧的条件下, 依托好氧微生物来分解产生作用, 好氧微生物主要以其自身的代谢规律来进行分解和合成代谢, 发生氧化还原和生物合成过程, 从而把复杂的有机质分解为无机质, 产生生物自身需要的能量, 同时把有机质合成新的细胞物质, 促进生物生长繁殖。堆肥具有隧道式翻堆、料仓式、条垛式等多种方式, 但都需要好氧吹风和翻抛两个步骤。堆肥工艺的停留时间一般为 25 ~ 30

天, 熟化后的物料进行下一步工序。工艺过程如下:

#### 3.3.1 预处理

预处理的作用是对原料垃圾进行称重、受料、分选和输送, 从前处理工艺进行除杂分类。餐厨垃圾卸入综合处置车间的卸料槽中, 采用板式破袋给料机 + 自动分选机工艺, 大杂质外运集中处置, 可利用的筛下物进入缓存罐供下一步工序使用。来料输送、破袋、分选等整个处置过程是在全封闭的状态下完成。

#### 3.3.2 生化处理

微生物生化处理是技术的核心部分, 主要是用餐厨垃圾作为基础, 碳氮比要求约为 25: 1, 同时按比例添加微生物菌种, 在适宜的温度、含水率、pH 等条件下进行好氧发酵处理, 使得微生物菌群对数级繁殖增长, 实现转化蛋白。

#### 3.3.3 后处理系统

将生化处理出来的原料再进一步筛分、分选出其中剩余的砂石重物质、金属等细小物质, 最终磨粉打包得到产品。

#### 3.3.4 生化处理技术优缺点

优点是没有复杂的分拣设备、占地面积小。缺点是设备处置能力较低、设备能耗大、减量效果不明显, 处理环境较差。

### 3.4 昆虫源蛋白饲料生物转化技术

该技术是利用黑粉虫、黄粉虫、大麦虫、黑水虻、白星花金龟、土元等各类昆虫处置餐厨垃圾, 将其转换成昆虫蛋白质, 营养价值高, 能够作为优质的动物饲料。优点: 投资小、占地面积小。缺点: 在国内工程化应用案例较少, 技术成熟度和应用有待考证。

## 4 结束语

采用厌氧消化技术处置餐厨垃圾在国内外因其具有技术先进、可靠性高、无害化程度较高, 具有较强的有机负荷缓冲能力, 有着较为广阔的应用前景。厌氧消化技术符合国家产业政策和方向, 产品为生物天然气或电力, 能平稳销售, 可保证餐厨垃圾的长期持续性处置; 二次环境污染较小, 易于控制。但是随着垃圾分类的进程不断加强, 餐厨垃圾的含固率不断升高, 有机质含量不断上升, 因此对餐厨垃圾处置工艺技术需要进一步更新升级, 不断优化技术路线, 达到最优的经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 许晓杰, 冯向鹏, 李冀闽, 等. 国内外餐厨垃圾处置现状及技术 [J]. 环境卫生工程, 2014, 22(3): 31-33.
- [2] 王星, 王德汉, 张玉帅, 等. 国内外餐厨垃圾的生物处置及资源化技术进展 [J]. 环境卫生工程, 2015, 13(2): 25-29.
- [3] 闵海华, 刘凯丽, 吕龙义, 等. 餐厨垃圾厌氧共消化研究进展 [J]. 环境工程学报, 2022, 16(8): 2457-2466.