



马厚龙,刁若梦,代战永,等.我国餐厨垃圾资源化利用技术现状分析及建议[J].黑龙江农业科学,2023(7):108-112.

我国餐厨垃圾资源化利用技术现状分析及建议

马厚龙,刁若梦,代战永,于欣卉,毕少杰,王彦杰

(黑龙江八一农垦大学 生命科学技术学院/黑龙江省寒区环境微生物与农业废弃物资源化利用重点实验室,黑龙江 大庆 163319)

摘要:随着人民生活质量的提高,我国餐厨垃圾的产量迅速上升,对餐厨垃圾的资源化利用及无害化处理成为人们普遍关心的课题。但是,由于填埋能力有限,垃圾焚烧容易造成环境污染,餐厨垃圾的填埋和焚烧处置方法受到限制,迫切需要探索绿色可持续的餐厨垃圾处理途径。为此,本文在介绍餐厨垃圾填埋、堆肥化、直接焚烧、机械破碎后排入下水道等传统处理方式的应用现状的基础上,分析了现阶段餐厨垃圾厌氧发酵、生产饲料、生产生物柴油等资源化利用模式,提出了餐厨垃圾“源头减量、过程控制、资源利用、政策支持”的资源化管理建议。希望利用各种资源化技术联合处理,尽早实现餐厨垃圾“减量化、无害化、资源化”。

关键词:餐厨垃圾;厌氧发酵;资源化利用;现状

餐厨垃圾是指餐饮经营活动场所在食品加工、转运、食用等活动中产生的剩余物和加工废弃物,以碳水化合物、蛋白质、脂肪、盐类等为主要成分^[1]。随着我国经济发展和人民生活质量的提高,餐厨垃圾的产量不断增加,由2010年的 3.1×10^7 t增长到2019年的 7.5×10^7 t,年均复合增长率为4.9%^[2]。然而,我国餐厨垃圾的处理却严重滞后,资源化处理率不足15%^[3-4]。近年来,我国高度重视餐厨垃圾减量化,习近平总书记曾针对生活垃圾分类管理和制止餐饮浪费行为分别作出过重要指示,如完善立法,加强监督,并采取有效措施,建立长效机制,切实遏制餐饮浪费行为。2021年7月,国家发展改革委、住房城乡建设部共同颁布《关于推进非居民厨余垃圾处理计量收费的指导意见》,以发挥价格机制激励约束作用,进一步推动餐厨垃圾源头减量。

餐厨垃圾是“资源型”废弃物,兼具“资源”和“危害”的双重性质,如果妥善处理将会产生良好的环境效益和极大的社会效益,否则将会产生巨大的社会危害。餐厨垃圾富含有机质,无序堆放、收运易发生腐败、污染水质、滋生蚊蝇、传播疾病,已成为影响市容和周边环境的重要污染源。

此外,腐烂的餐厨垃圾含有大量致病菌,会产生黄曲霉毒素等多种毒素,引发食品安全隐患;不法商贩为了牟取暴利,甚至直接从餐厨垃圾中提取“地沟油”,严重威胁人体健康^[5]。餐厨废弃物的产生和污染,已经成为威胁生态环境安全的重要因素之一。餐厨垃圾的治理成为亟需解决的问题,本文将介绍传统的餐厨垃圾处理方法,包括填埋、堆肥、焚烧和机械粉碎排入下水道等,并分析现阶段餐厨垃圾的厌氧发酵、生产饲料、生产生物柴油等可再生资源的利用模式。最后,提出了“源头减量、过程控制、资源利用、政策支持”的餐厨垃圾资源化管理建议。

1 餐厨垃圾传统处理方式

餐厨垃圾传统处理方式主要包括填埋处理、堆肥化、直接焚烧、机械破碎后排入下水道等。

1.1 填埋

填埋处理是指通过将垃圾埋入地下,利用微生物分解作用降解垃圾中的有机物,从而实现垃圾的减量化。该方法具有操作实施简单的优势,是目前处理餐厨垃圾的主要方式之一。在美国,每年产生约6600万t餐厨垃圾,其中超过95%被送往垃圾填埋场^[6];在中国,自20世纪90年代以来,餐厨垃圾的处理方式一直以填埋为主。填埋处理也存在着许多缺陷,如占地面积大、垃圾渗漏、排放有害气体和污染环境等^[7]。另外,随着城市化的加速和人口增长,填埋场的数量和容量也迅速增加。填埋场的建设和运营成本高昂,特别是在城市中心地带,土地成本更是昂贵。从长远来看,填埋处理不仅不能解决垃圾问题,而且还会

收稿日期:2022-12-23

基金项目:黑龙江八一农垦大学创新创业项目(202110223-054);黑龙江八一农垦大学学成、引进人才科研启动计划(XDB2015-26,XYB202022)。

第一作者:马厚龙(1999-),男,本科生,专业方向为生物技术。E-mail:MA2807310480@163.com。

通信作者:毕少杰(1990-),男,博士,副教授,硕士,从事农业废弃物资源化利用研究。E-mail:bishaojie1990@163.com。

加剧环境污染。因此,一些地区开始限制填埋处理,如韩国和美国的加利福尼亚州已颁布法令禁止新建餐厨垃圾填埋处理设施^[8]。为保护环境和人体健康,住房和城乡建设部于2013年颁布了《生活垃圾卫生填埋处理技术规范》,明确了餐厨垃圾填埋的限制和标准。总之,填埋处理虽然存在一些不足,但现阶段在餐厨垃圾处理中仍占有重要地位。

1.2 堆肥

堆肥是一种相对环保的餐厨垃圾处理方式,在有氧条件下,利用专性或兼性好氧微生物的矿化作用,将有机质转化为以腐殖质为主的产品,具有有机质降解速率快,病原菌杀灭程度高的优点^[9]。目前,餐厨垃圾的堆肥技术已在发达国家如美国、韩国等开始推广应用。据报道,2022年,美国餐厨垃圾产量的4%以及韩国餐厨垃圾产量的30%通过堆肥技术回收营养物质^[10]。近年来,我国的一些地区也陆续建设了一批餐厨垃圾好氧堆肥处理工程。然而,由于堆肥处理存在着许多缺点,如排放有害气体、堆肥品质不稳定、盐分高、重金属超标严重,甚至含有虫卵和病原体等问题,致使产品销路不畅^[11]。调研发现,餐厨垃圾堆肥处理在我国的推广应用并不理想,有多家餐厨垃圾堆肥厂已经倒闭或濒临倒闭。尽管在实践过程中依然存在一些困难和挑战,但随着人们环保意识的日益增加,通过技术创新和经验总结,堆肥技术的发展潜力和应用前景仍十分广阔。

1.3 直接焚烧

焚烧是指在的高温(800~1 000 °C)环境下,利用焚烧降解废弃物中的有机质,可实现50%以上的废弃物减量,同时产生的热量可用于发电或余热回收利用,具有周期短、处理量大、减量效果好等优点^[12]。日本、美国、欧洲及新加坡等国家和地区具有先进的垃圾焚烧处理经验。尽管焚烧也是我国处理生活垃圾的主要方式,但仍存在核心技术不完善、进口设备成本过高、垃圾分类回收机制不完善导致后续焚烧效益较低、焚烧过程产生的二噁英及呋喃等致癌污染物的实时处理与监测手段不足等问题^[13]。此外,焚烧法的资源化利用效率不高,餐厨垃圾的高含水率还会增大辅助燃料的消耗,并进一步提高处理成本。

1.4 垃圾粉碎后进入污水处理系统

粉碎处理是指采用破碎机把一些餐厨废弃物粉碎,磨成液体后排入城市下水道,最终进入城市

污水处理系统。该方法具有操作简单,安全卫生的特点。2015年,上海市出台了《餐厨垃圾处理管理办法》,在该办法中,专门针对餐厨垃圾粉碎后排入下水道的处理进行了规定:餐厨垃圾每日处理量不得超过100 kg,排放到下水道前必须通过酶解前处理,COD浓度不得超过 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,pH为6~9。但是,该方法会增加污水处理装置的负担,还有可能堵塞下水道,不适合大量餐厨垃圾的处理^[14],目前该技术在我国的应用较少。

2 餐厨垃圾的资源化利用模式

餐厨垃圾富含有机质,属于资源型废弃物,其处置方式应该坚持资源化利用的原则。现阶段,餐厨垃圾资源化模式主要有厌氧发酵制甲烷、生产生物饲料、生物制氢等。

2.1 厌氧发酵制甲烷

在我国,现阶段餐厨垃圾资源化利用的最主要方式是厌氧发酵,占处理总量的70%以上^[15]。厌氧发酵是指在厌氧条件下,各种兼性或专性厌氧菌降解有机质的生物过程(图1),最终资源化的产品包括沼气和有机肥等。厌氧发酵技术按照发酵阶段分为单相、双相和多相厌氧发酵技术,按进料浓度分为湿式、高固体和干式技术,按温度分为高温、中温与低温厌氧发酵技术。我国餐厨垃圾处理采用的主要工艺为中温湿式厌氧发酵,主要模式为“预处理-厌氧发酵-资源化利用”。该技术的好处是能耗较少,残留低,可回收高附加值产品,但弊端则是建设投入较大,运营成本高,沼液沼渣管理比较困难等。自2006年起,欧盟和亚洲的部分发达国家首先开始使用厌氧发酵技术处置餐厨垃圾^[16]。2012年,英国伦敦开始筹建当地第一座餐厨垃圾沼气工程,预期每年处理4.9万t垃圾。2014年,欧洲运行的沼气工程达到244个,每年处理城市生活垃圾超过700万t^[17]。到2016年,我国首个餐厨沼气项目在浙江投资运营。据不完整统计,截止到2019年,我国运行的餐厨垃圾处理项目超过100个,厌氧发酵日处理餐厨垃圾达到5.9万t^[2]。当前,餐厨废弃物厌氧发酵处理的势头越来越强烈,但也存在一些问题。我国餐厨垃圾沼气工程建设起步较晚,成果经验较少,技术装备水平较弱,盈利水平低。其中,甲烷产量少、沼气处理困难等所带来的经济效益问题严重影响了餐厨沼气项目的市场化开发,发展先进的厌氧发酵工艺和设备成为克服上述困难的基础。

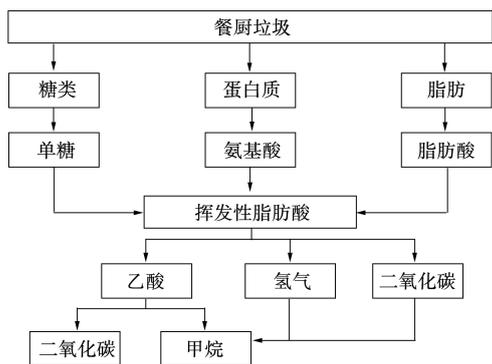


图1 餐厨垃圾厌氧发酵产甲烷的反应流程图

2.2 生产生物饲料

近年来畜牧业蓬勃发展使得对蛋白质饲料的需求量日益增大,但由于中国蛋白质饲料资源短缺,且越来越高度依赖进口,到2020年,我国的大豆进口数量超过1亿t,对外依存度超过80%^[18]。目前,蛋白饲料生产资源的严重短缺已成为影响当前畜牧业发展的重大障碍。餐厨垃圾中含有大量营养成分,具有饲料化利用的优势。在农村地区,餐厨垃圾大多直接用来养猪。出于安全卫生考虑,国家已经立法禁止直接将餐厨垃圾作为饲料使用。餐厨垃圾必需经过无害化处理后才能制成饲料,其制备方法分为物理法和生物法^[19]。物理法是指采用高温杀灭病毒的手段将脱水后的餐厨垃圾粉碎加工成干饲料。其优点是工艺简单,成本较低,缺点是存在食物安全隐患。受餐厨垃圾性质的影响,灭菌饲料难以避免同源性的问题,饲料产品难以达到蛋白质饲料的标准。为满足安全要求,必须在技术、设备等方面进行优化调整。生物法是指利用餐厨垃圾喂养昆虫,如家蝇、黑水虻、蟋蟀、蚯蚓等,培养微生物,如酵母菌、霉菌、乳酸菌、放线菌、芽孢杆菌等,利用生物的生长和代谢来获取蛋白饲料^[20]。利用黑水虻生物转化餐厨垃圾的主要过程为:转运收集后的餐厨垃圾经分拣、粉碎、固液分离处理,液态部分通过处理后达标排放,固体部分加辅料搅拌后用于黑水虻培养(图2)^[21]。相较于昆虫,微生物生产速度快,利用餐厨垃圾生产微生物蛋白的优势更强。生产微生物蛋白的好处包括细菌繁殖快速,且生产得率高;蛋白质浓度极高且很容易被消化系统吸收;养分利用价值也极高,富含丰富的维生素、矿物质、生长因子、氨基酸等;受环境影响小,产品稳定^[18]。目前,微生物蛋白作为饲料已经在畜禽生产、水产养殖中得到了广泛应用^[22]。所以,利用餐厨废弃物制造微生物蛋白有着良好的前景。

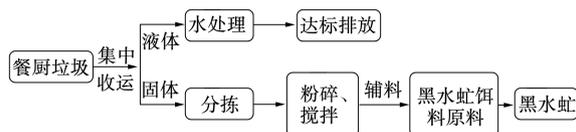


图2 黑水虻生物转化餐厨垃圾的工艺流程图

2.3 生物制氢

餐厨垃圾生物制氢主要采用厌氧发酵法,主要方法有两类:(1)一步法:通过改善反应环境、催化剂、材料配比等,使得餐厨废弃物厌氧发酵产生甲烷的同时尽量多的产生储氢材料,此方法还停留于实验室阶段;(2)两步法:利用餐厨废弃物厌氧发酵首先形成沼气,而沼气经纯化后再生产为储氢材料,此工艺技术目前已实现了工业化应用。甲烷制氢工艺目前主要使用蒸汽重整法,每吨甲烷可转化为2 m³氢气^[23]。据调查,每吨餐厨垃圾平均产生甲烷约45 m³,折合氢气90 m³。据测算,每吨餐厨垃圾的制氢成本约为1.55万元,为天然气制氢、电解水制氢的77%和58%^[24]。由于成本问题,生物制氢的产业化应用较少。据统计,2020年,生物质制氢占比不足1%^[25]。餐厨垃圾生物制氢,不仅可以解决餐厨垃圾带来的环境污染,还可以生产清洁能源,缓解能源危机。在“双碳”背景下,餐厨垃圾制氢工程项目持续推动,2022年,城康氢碳新材料在湖北投建“垃圾制氢+碳资源化”绿氢绿碳车间;瀚蓝环境2022年在中国佛山南海兴建每年处理约2200t的餐厨垃圾制氢工程项目。

3 餐厨垃圾资源化管理的建议

随着城市化进程的加速和人口数量的不断增长,餐厨垃圾管理面临着更为严峻的挑战。我国对餐厨垃圾的规范化和标准化管理起步较晚,目前的相关标准主要为2012年实施的《餐厨垃圾处理技术规范》。此外,我国餐厨垃圾治理还存在资金投入不够、技术不成熟、管理不规范、运用效率低、处理困难等实际问题。因此,未来需要加快标准化体系的建设,促进全过程规范化管理的进程。这既包括在政策法规层面逐步完善和落实相关的标准与规范,也包括在技术创新和应用方面积极探索和推广先进的餐厨垃圾处理技术和设备。在资源紧缺的今天,应当从根本上减少餐厨产生;倡导餐厨垃圾资源实施分类收集,因地制宜的调整措施,多元化废弃物无害化处理利用途径等;提倡争取地方政策资源与支持,鼓励从事固体废物资源化利用再分类处理以及壮大餐厨垃圾企业规模

发展的产业多元化快速发展战略道路等,从而实现经济效益、社会效益和生态效益高度协调相互促进的有机良性统一。餐厨垃圾资源化管理应该在政策支持下朝着“源头减量、过程控制、资源化利用,结合无害化处理(填埋或焚烧)”的处理模式发展。

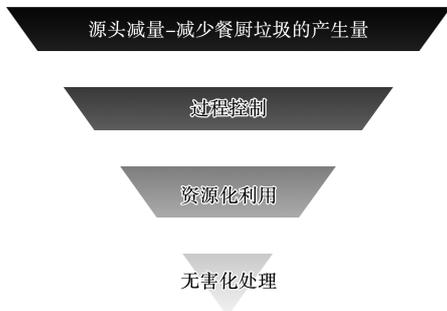


图3 餐厨垃圾资源化管理模式

3.1 源头减量

从根本上降低餐厨垃圾总量规模的量化管理新方式。大力推广“光盘行动”,以带动全社会居民建立资源节约意识,从源头减少餐厨垃圾的产量。为保障餐厨垃圾资源化工作发展有序进行,应依法严格落实好餐厨垃圾分类制度,结合国家有关垃圾分类处置政策定期进行垃圾申报及登记,实时监控餐厨垃圾产量,定期调节各餐厨垃圾处理厂排放承载力,同时合理增设我国餐厨垃圾分类排放容许限值^[26],实现产量控制的目的。

3.2 过程控制

为解决环境污染问题,应该及时分类回收餐厨垃圾,运送至餐厨垃圾处理厂集中处理,防止恶臭气体对周围环境造成影响,处理厂设置专门的抽风及送风系统。运送车采用封闭车体,避免四处溅落,卸料时门自动封闭,减少恶臭物污染,如控制餐厨废弃物产生的恶臭物时,可加入磷酸来减少恶臭物;还可以通过在垃圾堆肥处置时加入磷酸盐、硅灰等化学物质改善处置条件,从而增加餐厨垃圾的资源转化效率。另外,可以运用洗涤法、过滤法、膜滤等实现除臭。

3.3 资源利用

餐厨垃圾的无害化、资源化利用具有可观前景。通过不同的资源化利用方式,比如:餐厨垃圾好氧堆肥、厌氧发酵产甲烷、生产生物肥料等方法,对餐厨垃圾进行合理使用,可降低土地资源占用率,缓解环境污染等问题;而利用餐厨垃圾大力发展清洁能源,是缓解资源短缺、增加经济效益的主要手段,也有着重要意义。针对餐厨垃圾的地

域性差异,应该根据不同地区餐厨垃圾的理化特性,因地制宜地研发与之相适应的餐厨垃圾处理新技术、新工艺和新装备,并生产高附加值的资源化产品,加快部分资源化设备的国产化及实验室研究向实践推广应用的成果转化进度。

针对餐厨垃圾成分的复杂性,应该采用组分分离、组合运用多种技术处理等方式来实现资源的高效利用。在餐厨垃圾组分分离方面,通过除杂工艺获得的塑料、木材、纸张等轻物质可用于焚烧发电或生产热解气;通过油水分离工艺获得的油脂可用于生产生物柴油等,实现餐厨垃圾的高价值利用。在综合运用多种技术处理餐厨垃圾方面,如通过开展厌氧发酵产沼气+好氧堆肥组合工艺,提高资源化利用率。厌氧发酵通过降解生物质废弃物产生能源气体。好氧堆肥可利用微生物分解有机废弃物,经腐熟转化为腐殖酸类有机肥。在餐厨垃圾沼气工程中,分别采用厌氧发酵与好氧堆肥技术处理餐厨浆液固液分离后的液相和固相,不仅提高餐厨垃圾厌氧发酵系统的稳定性,而且产生高附加值的有机肥产品,增加收益。

3.4 政策支持

政府有关部门出台相关政策,投入资金、人力、增强民众对餐厨垃圾资源化利用的重视度。完善城市餐厨垃圾处理系统建设,实现垃圾处理分级投放、分级接收、分类转运、分级管理,逐步实现餐厨垃圾减量化和资源化、无害化处理。采取政策引导、宣传教育等,以引导民众积极地参加城市垃圾分类。

4 结语

餐厨垃圾作为一种资源性废弃物,其资源化利用备受关注。针对资源化的餐厨垃圾处理技术,包括厌氧发酵、好氧堆肥、加工生产饲料等,这些技术能够有效地实现餐厨治理的“资源化、减量化、无害化”原则,在餐厨垃圾治理方面发挥重要作用。但在我国,餐厨垃圾资源化利用研究仍处于起步阶段,资源化利用水平有待提高。建议从限制餐厨垃圾资源化利用技术路线推广应用的关键问题入手,加快推进餐厨垃圾资源化利用新技术的研发,以提高餐厨垃圾的资源化利用效率,真正达到将餐厨垃圾变废为宝的目的。

参考文献:

- [1] 王凯军,王婧瑶,左剑恶,等.我国餐厨垃圾厌氧处理技术现状分析及建议[J].环境工程学报,2020,14(7):1735-1742.
- [2] 中国沼气学会.中国沼气行业“双碳”发展报告[R].北京:中国沼气学会,2021.

- [3] 郝君妍,罗恩华,金宜英,等.中国餐厨垃圾资源化利用系统建设现状研究[J].环境科学与管理,2018,43(4):39-43.
- [4] ZHOU Y, ENGLER N, NELLES M. Symbiotic relationship between hydrothermal carbonization technology and anaerobic digestion for food waste in China[J]. Bioresource Technology, 2018,260:404-412.
- [5] 王磊.试结合地沟油谈食品商品质量要求[J].价值工程,2011(19):114.
- [6] GUNDERS D. Wasted: How America is losing up to 40 percent of its food from farm to fork to landfill[R]. Natural Resources Defense Council, 2012,26:1-26.
- [7] 毕少杰,洪秀杰,韩晓亮,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.
- [8] 刘瑜,赵佳颖,周晚来,等.城市园林废弃物资源化利用研究进展[J].环境科学与技术,2020,43(4):32-38.
- [9] 王志勇,石春芳,冷小云,等.堆肥化技术在产业废弃物资源化处理中的应用[J].黑龙江农业科学,2016(2):147-150.
- [10] 高宁博,胡雅迪,全翠.餐厨垃圾的热转化和生物处理研究进展[J].化工进展,2022,41(S1):507-515.
- [11] 邓松圣,戴飞,冷夕杜,等.餐厨垃圾处理模式确定方法研究[J].环境科学与管理,2022,47(11):43-48.
- [12] 伍长青,李军,周圣庆.县级城市餐厨垃圾处理工艺以及案例分析[J].环境卫生工程,2015,23(6):19-21.
- [13] 宋士丽,冯楠,石姗姗,等.餐厨垃圾协同生活垃圾焚烧厂处理工艺技术[J].有色冶金节能,2022,38(1):56-60.
- [14] 李雁,常红晨,李根灿,等.餐厨垃圾无害化处理方案探析[J].低碳世界,2020,10(4):19-20.
- [15] 吕凡,章骅,邵立明,等.基于物质流分析餐厨垃圾厌氧消化工艺的问题与对策[J].环境卫生工程,2017,25(1):1-8.
- [16] THI D, KUMAR G, LIN C. An overview of food waste management in developing countries: current status and future perspective[J]. Journal of Environmental Management, 2015,157:220-229.
- [17] LOTTI T, BURZI O, SCAGLIONE D, et al. Two-stage granular sludge partial nitrification/anammox process for the treatment of digestate from the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste[J]. Waste Management, 2019,100:36-44.
- [18] 杨瑞,罗刚,张士成,等.餐厨垃圾制备单细胞蛋白研究进展[J].复旦学报(自然科学版),2022,61(2):229-237.
- [19] 崔艺燕,邓盾,田志梅,等.餐厨废弃物饲料化技术及其在动物生产中的应用[J].中国畜牧兽医,2021,48(12):4478-4487.
- [20] VARELAS V. Food wastes as a potential new source for edible insect mass production for food and feed: a review[J]. Fermentation, 2019,5(3):81.
- [21] 强敬雯,王晚晴,唐曼玉,等.黑水虻转化厨余垃圾及产品应用相关研究进展[J].饲料工业,2023,44(6):25-32.
- [22] 王宇灵,覃瑞,刘虹,等.单细胞蛋白应用于食品工业的现状和展望[J].中国食物与营养,2019,25(10):29-32.
- [23] 陈锦芳,葛文字,王治道.天然气制氢工艺介绍及成本分析[J].煤气与热力,2017,37(12):8-11.
- [24] 广发环保.餐厨垃圾制氢:“焚烧+”新尝试,固废龙头新选择[EB/OL].(2022-05-10)[2022-11-25]. <https://finance.sina.com.cn/>.
- [25] 舟丹.我国氢能产业发展前景[J].中外能源,2022,27(11):9.
- [26] 周海林.餐厨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(5):70-73.

Analysis and Suggestions on the Current Situation of Food Waste Utilization Technology in China

MA Houlong, DIAO Ruomeng, DAI Zhanyong, YU Xinhui, BI Shaojie, WANG Yanjie

(College of Life Science and Biotechnology, Heilongjiang Bayi Agricultural University/Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Environmental Microbiology and Recycling of Agro-waste in Cold Region, Daqing 163319, China)

Abstract: With the improvement of people's living standards, the production of kitchen waste in China increased rapidly. The resource utilization and harmless treatment of kitchen waste have become an urgent issue and a concern for the public. However, the disposal methods of kitchen waste landfill and incineration were restricted due to limited landfill capacity and the potential for environmental pollution caused by waste incineration. It was urgent to explore sustainable processing methods for kitchen waste. Therefore, based on the introduction of the application status of traditional treatment methods such as landfill, composting, direct incineration, and mechanical crushing into sewers, this article analyzes the anaerobic fermentation, aerobic composting, production of feed, and production of biodiesel resources from kitchen waste in the current stage, and proposes the suggestion of reducing at the source, controlling the process, utilizing resources, and supporting policies for resource management of kitchen waste. It is hoped that various resource utilization technologies will be used to achieve the "reduction, harmless, and resource utilization" of kitchen waste as soon as possible.

Keywords: food waste; anaerobic fermentation; resource utilization; the current situation