

DOI: 10.5846/stxb201106210914

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. 生态学报 2012, 32(14): 4575–4584.

Hu X J, Zhang M, Yu J F, Zhang G R. Food waste management in China: status, problems and solutions. Acta Ecologica Sinica 2012, 32(14): 4575–4584.

中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策

胡新军, 张 敏, 余俊锋, 张古忍*

(中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室/昆虫学研究所, 广州 510275)

摘要: 餐厨垃圾具有高水分、高盐分、高有机质含量、组分时空差异明显、危害性与资源性并存的特点。目前国内外常用的餐厨垃圾处理技术如焚烧、卫生填埋、生态饲料、厌氧消化、好氧堆肥和蚯蚓堆肥等, 通常存在着资源化利用效率低、经济效益不够理想的缺陷。总结相关文献及报道, 中国在餐厨垃圾资源化处理上存在“行政瓶颈”和“技术瓶颈”两大方面的问题: “行政瓶颈”的解决之道在于完善管理及处理体系, 各级政府部门切实重视、加大投入, 强力推进垃圾分类投放; 而对于“技术瓶颈”, 除综合运用多种现有处理技术外, 开发新技术提高餐厨垃圾的资源化循环利用程度, 是关键所在。

关键词: 餐厨垃圾; 资源化; 循环利用; 垃圾处理

Food waste management in China: status, problems and solutions

HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, ZHANG Guren*

State Key Laboratory for Biological Control, Institute of Entomology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: The present paper reviewed the food waste management in China, specially analyzed the basic features of food waste, summarized the current disposal technologies, pointed out the present problems, and suggested countermeasures for future in the food waste management of China. Food waste is characterized by high moisture, salinity and organic matter content, which makes it possess duplicity with the perishable and smelly as a waste and the potential as a recycling biotic resource. There is significant spatial and temporal variations in components of food waste from different areas due to geographic differences, eating habits and cultural traditions. Thereby it is usually difficult to process various food waste with a unitary approach. At present, commonly used disposal technologies for food waste include incineration, sanitary landfill, ecofeed, anaerobic digestion, aerobic composting, and vermicomposting. However, incineration is featured with heavy energy consumption because of the high moisture character and sanitary landfill occupies a lot of places with the possibility of the secondary pollution. Other unconventional approaches (except for incineration and sanitary landfill) also have common limitations, such as a long processing period, complex operation, inefficient reclamation and low economic value, when referred to the principle of decrement, innocuousness, and reclamation. In recent years, more and more attentions have been paid to the food waste reclamation in view of the gradually serious predicament of garbage siege. Nevertheless, the food waste reclamation is still in its infancy with many problems of management and disposal. Above all, it is reported that the amount of food waste generated in China is not less than 60 million tons per year, accounting for 40%—50% of the municipal solid wastes, but the reclamation ratio is extremely low. Moreover, an effective collection system and relevant laws/regulations have not been established. Guangzhou is the only city to issue the Interim Provisions of Garbage Classification Management till the present moment, where refuse sorting is made mandatory for citizens. There is no national law of food waste management in China, and only Xining issued a district law Regulations of Food Waste Management in

基金项目: 中山大学中央高校基本科研业务费专项资金(3165004)

收稿日期: 2011-06-21; 修订日期: 2012-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhanggr@mail.sysu.edu.cn

<http://www.ecologica.cn>

Xining. Besides, the economic value of the current processing technologies is low at large, and local financial subsidy is requisite to the development of food waste processing technologies and companies which are responsible for food waste disposal. Ultimately, it is difficult to dispose food waste completely using existing technologies, and the liquid of food waste is usually discharged into sewage treatment system. High salinity in the liquid from food waste brings overburdens to the sewage treatment system, not only hindering the growth of microorganism in sewage treatment system, but also corroding relative equipments. All these problems can be broadly grouped into two areas, administrative bottleneck and technical bottleneck. The solution of administrative bottleneck lies in improving management and disposal systems, and all levels of government should pay more attentions and increase investment to the garbage sorting. Whereas the solution of technical bottleneck requires comprehensive use of multiple processing technologies, as well as research and development of new technologies to improve the degree of food waste recycling. And a creative and feasible technology was suggested in the end of this paper, which could be used to recycle food waste efficiently by flies naturally occurred in organic wastes.

Key Words: food waste; reclamation; recycling; waste management

餐厨垃圾是一个外延非常广泛的概念, Priceet 等认为食物生产、运输、分配及消费中产生的废弃部分都属于餐厨垃圾^[1]。而根据中国住房和城乡建设部制定的《餐厨垃圾处理技术规范》(征求意见稿), 餐厨垃圾是指“饭店、宾馆、企事业单位食堂、食品加工厂、家庭等加工、消费食物过程中形成的残羹剩饭、过期食品、下脚料、废料等废弃物。包括家庭厨余垃圾、市场丢弃的食品和蔬菜垃圾、食品厂丢弃的过期食品和餐饮垃圾等”。在通常的观念及论述里面, 餐厨垃圾则基本上专指家庭厨房、公共食堂及餐饮行业的食物废料和食物残余, 这种专指用“厨余垃圾”(在部分文献中将餐厨垃圾等同于厨余垃圾)来称呼可能会更为恰当。

在美国、日本、韩国及欧盟等国, 餐厨垃圾资源化处理早已法制化和企业化, 成为了一项成熟的环保产业, 而国内对于餐厨垃圾资源化处理尚处在起步阶段。本文对中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策进行了综述, 首先介绍了餐厨垃圾的基本特点, 评述了国内外常用餐厨垃圾处理技术, 然后较为全面地阐述了国内餐厨垃圾处理的现状及存在的瓶颈问题, 最后对两个瓶颈问题进行了对策思考。试图对我国餐厨垃圾的处理现状有一个比较全面而正确的介绍, 为我国餐厨垃圾的高效处理和资源化利用提供参考意见。

1 餐厨垃圾的基本特点

1.1 理化特性

餐厨垃圾是城市固体垃圾(municipal solid wastes, MSW)中有机垃圾的重要组成部分, 其理化特点是高水分、高盐分和高有机质含量, 并且油脂含量远远高于其他有机垃圾。潘爱丽等^[2]分析了吉林大学餐厅餐厨垃圾的基本理化性质, 该餐厨垃圾微酸性, pH 值为 6.8; 主要营养成分——水分、蛋白质、脂肪、糖类和盐分的含量分别为 73.03%、12.16%、6.23%、4.16%、1.24%; 灰分为 1.75%, 总碳含量 13.95%, 不适合直接焚烧处理。

1.2 时空差异性

餐厨垃圾的组成成分具有明显的地域特性, 如韩国的餐厨垃圾盐含量相对较高而不宜使用堆肥法来处理^[3]; 中国早、中、晚三餐所产生的餐厨垃圾在理化性质上亦存在明显差异, 早餐餐厨垃圾总固体量(total solid, TS)、挥发性固体(volatil solid, VS)、VS/TS 比值和脂肪含量明显低于午餐和晚餐的餐厨垃圾, Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Cl^- 含量, 特别是 Cl^- 含量, 显著高于后两者^[4]。

1.3 危害性

餐厨垃圾有机质含量高, 产量大、产地分散, 极易腐败发酸发臭、滋生有害生物, 若收集转运过程中发生泄漏则会污染空气、土壤及水源, 严重干扰人们的正常生活, 具有危害性的一面。

中国大部分地区习惯上将餐厨垃圾作为廉价饲料直接饲喂畜禽。但是城市餐厨垃圾除了含有金属物、牙签及塑料等尖锐物体会伤及畜禽消化道, 还含有大量病原微生物、寄生虫及其虫卵, 饲喂畜禽后易引起人畜共

患疾病。此外,餐厨垃圾直接饲喂畜禽存在食物链危险:一是病原微生物所产生的生物毒素在畜禽体内富集,进而通过食物链转移到人体;二是餐厨垃圾含有大量所饲喂畜禽的同源性蛋白,存在重大安全隐患,如目前普遍认为疯牛病(牛海绵状脑病)大规模爆发主要原因是牛食用了患有羊痒症的羊肉骨粉,因此加拿大、美国、日本、韩国及欧盟等国已立法严禁使用反刍动物蛋白提炼动物饲料或者使用动物源性蛋白饲料喂养同种动物^[5]。中国农业部亦出台了《动物源性饲料产品安全卫生管理办法》,明文禁止使用动物源性饲料饲喂反刍动物。

1.4 资源性

餐厨垃圾含有丰富的有机营养成分,经过合理处置后是制作动物饲料、有机肥料和生物能源的重要来源,是一种高价值的生物质资源,国内外对餐厨垃圾资源化处理技术的研究方兴未艾。

中国每年产生的餐厨垃圾干物质含量相当于 500 万 t 优质饲料,相当于 1000 万亩耕地的能量产出^[6]。宁波市在 2008 年的“全国城市餐厨垃圾资源化利用现场交流暨研讨会”上介绍,自 2006 年 12 月 1 日《宁波市餐厨垃圾管理办法》正式实施起到 2008 年底,累计收运餐厨垃圾达 7.7 万 t,制成饲料原料 5200 t、不饱和润滑剂 1800 多吨。因此,选择或者开发合理的餐厨垃圾处理技术,对餐厨垃圾进行资源化处理具有重要意义。

2 国内外常用餐厨垃圾处理技术

目前国内外餐厨垃圾处理技术,按照处理媒介可以分为非生物处理和生物处理技术两大类。非生物处理技术主要是指传统垃圾处理方式,如焚烧、填埋,此外还有新兴的脱水饲料化、真空油炸饲料化、机械破碎等;而生物处理技术主要包括厌氧消化及好氧堆肥等。

2.1 焚烧

焚烧法是将垃圾放在特制焚烧炉中用 1000 ℃ 以上高温将垃圾有机成分彻底氧化分解,可将固体减量 50%—80%,焚烧产生的能量可以用来发电、供暖等,剩下的灰分含有大量重金属及有毒物质,一般在高温下加入 SiO_2 等辅料作烧结或玻璃化处理,或生产水泥、瓷砖等建筑材料^[7]。除了传统的燃料(如煤炭^[8])辅助燃烧法,日本、美国和加拿大正在应用的高温等离子电弧汽化发电技术是一种高效、高产值、无污染的新型技术^[9]。由于城市固体垃圾含水量高、成分复杂,传统焚烧将产生大量有害气体及粉尘,破坏生态环境,危害人类健康;同时焚烧场建设维护成本大,资源浪费严重。

2.2 卫生填埋

卫生填埋是将垃圾埋入地下,利用各类微生物将生物大分子充分降解为小分子的生化过程。为了防止填埋过程中产生的渗滤液污染土壤和地下水,填埋场需要建设相应的收集和处理系统。卫生填埋处理成本低,技术简单,适合各种垃圾,发展中国家应用较多。但是填埋法存在重大安全隐患,容易污染地下水、产生的甲烷等气体可能发生爆炸,同时资源回收利用率基本为零、占用大量土地,不适合用地紧张的地区,如韩国 1994 年卫生填埋率为 81%,而到 2008 年则降低到了 20%^[10]。

2.3 机械破碎

机械破碎法是指利用垃圾处理器的机械破碎力将家庭垃圾打碎后排入下水道。实质是利用污水处理系统来降解有机质,对城市污水处理系统要求较高。事实上,为了保护污水处理系统,日本很多地方政府已禁止使用垃圾粉碎机。

2.4 厌氧消化

餐厨垃圾的厌氧消化是指在无氧条件下,利用兼性微生物及厌氧微生物的代谢作用将复杂有机物分解为小分子有机物及无机物,在此过程中实现对餐厨垃圾的减容减量及资源化利用。厌氧消化大多通过接种下水道污泥、牲畜粪便或其他来源富集到的菌种,也可利用餐厨垃圾本身滋生的微生物来发酵^[11-12]。而通过控制消化条件及消化程度,厌氧消化可根据需要生产多种产物,但研究主要集中在甲烷和氢气等能源物质^[13-18]的生产。此外,利用厌氧发酵可获得各种有机酸和醇,如乙醇^[19]、乙酸、丁酸^[20]、葡萄糖糖化酶^[21]、乳酸^[22-23]等。

厌氧消化通过微生物的降解实现餐厨垃圾减容减量和回收利用,自动化程度高,需要的人力少,容易控制恶臭散发,产品具有多样化、经济价值较高等优点。但是微生物对酸碱度要求高,处理技术相对复杂,反应器内生物量启动时间长;同时餐厨垃圾高油脂、高盐分会导致过度酸化及抑制菌体生长,不利于持续而稳定地降解餐厨垃圾;厌氧发酵产生的沼渣处理仍是一大难题,通常需干化处理后填埋,或重新堆肥后制成有机肥。

2.5 生态饲料

在日本,从餐厨垃圾加工得到的饲料被称为生态饲料^[24]。目前制备生态饲料的方法主要有:(1)青贮,即利用乳酸菌发酵^[25];(2)脱水制备干饲料,如真空油炸法、煮沸干燥法、高温发酵干燥法、直接高温干燥法^[25-26];(3)发酵后以流体形式饲喂畜禽^[26];(4)通过厌氧或好氧发酵生产菌体蛋白^[27]。国内相关企业主要利用餐厨垃圾来生产菌体蛋白,如2008年奥运村餐厨垃圾处理服务商北京嘉博文生物科技有限公司^[28]。

餐厨垃圾饲料化具有潜在的食物链风险,在生产和使用生态饲料的时候需谨慎操作,并制定相应的行业标准与法律法规来保证其安全性。

2.6 好氧堆肥

好氧堆肥是一个有机质稳定化过程^[29]。指在有氧条件下,利用好氧微生物对堆积于地面或者专门发酵装置中的有机质进行生物降解,最终形成稳定的高肥力腐殖质。除了餐厨垃圾自然滋生的微生物之外,也可通过接种特定微生物来加速堆肥进程,如耐热降脂放射菌^[30]、人畜粪便中包含的微生物^[31]等。

好氧堆肥技术简单,便于推广,但需要较大面积的处理场地,堆肥过程会产生难闻气味,经济效益不高。另,餐厨垃圾的高油脂及高盐分会抑制微生物生长,延长处理周期和降低堆肥产品的品质,如高丹等^[32]以筛分后15—80 mm生活垃圾为原料,添加外源菌剂并充分利用发酵循环热量,整个堆肥周期需要27 d。中国无害化堆肥处理厂数目逐年下降,从2003年的70个减少到2011年的11个^[33],这可能与中国城市垃圾混合堆放、分离成本高、堆肥企业经济效益低有关。

2.7 蚯蚓堆肥

蚯蚓堆肥是指在好氧堆肥的基础上投入蚯蚓,利用蚯蚓自身丰富的酶系统,将餐厨垃圾有机质转化为自身或其它生物易于利用的营养物质,加速堆肥的稳定化过程。蚯蚓堆肥不仅可以降低重金属含量和碳氮比,提高堆肥肥效^[34],同时繁殖出来的蚯蚓是一种高蛋白饲料、药用材料(中药地龙)和化妆品添加剂原料,蚯蚓粪便亦是高肥效生物肥,因此蚯蚓堆肥技术具有较高的环保效益和经济效益。但蚯蚓堆肥过程中,蚯蚓对其生长环境要求较高,需合适的温度、pH值、湿度及通风程度^[35],堆肥过程产生的甲烷及其他臭味气体亦不利于蚯蚓生存^[36];蚯蚓的生活周期长且繁殖率较低,如赤子爱胜蚓 *Eisenia fetida*,从受精卵到成虫平均需要4个月,平均每条蚯蚓每个月的净繁殖率仅为9条^[37]。此外,在养殖蚯蚓前,需预堆肥(约20 d)来杀死病原菌和有害微生物,因此,蚯蚓堆肥的周期较长。

3 中国餐厨垃圾产生及处理现状

3.1 产量巨大,资源化比例低

中国城市每年产生餐厨垃圾不低于6000万t^[6],大中城市餐厨垃圾产量惊人,仅表1所列城市餐厨垃圾年产量就超过了640万t,重庆、北京、广州等餐饮业发达城市问题尤其严重。

随着垃圾产量逐年上升,中国垃圾焚烧场从2003年的47个到2009年的93个,增加近1倍;2009年中国各地区清运和处理生活垃圾15733.7万t,其中卫生填埋8898.6万t,占56.6%^[33]。而中国目前绝大多数城市的餐厨垃圾与生活垃圾混合堆放,以传统的焚烧、填埋为主。焚烧、填埋不能实现餐厨垃圾资源化利用,是对餐厨垃圾的极大浪费,并给地方财政带来沉重负担,据沈超青^[38]分析,广州焚烧和填埋餐厨垃圾的年均净收益分别为-2538万元和-1465万元。

即使在大力发展餐厨垃圾资源化技术的城市,资源化处理比例也相对较低。如北京2008年餐厨垃圾日产量超过1200t,资源化处理量仅为200t,不足20%;而上海2008年的餐厨垃圾日产量超过1100t,实际收运量只有500t。

3.2 处理原则明确、国家层面重视

把餐厨垃圾当做一种特殊的生活垃圾及固体废弃物,根据相关法律,如《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2005)、《城市生活垃圾管理办法》(2007)、《餐饮企业经营规范》(2007)、《中华人民共和国循环经济促进法》(2009)等,可以确定以下处理原则^[39]:(1)餐厨垃圾处理“减量化、资源化、无害化”和“污染者付费”的原则;(2)餐厨垃圾收运处置单位必须获得相应行政许可;(3)餐厨垃圾必须进入权威部门认定的处置场所;(4)有关部门有权处置非法经营者。

国家对餐厨垃圾无害化、资源化处理利用极为重视。除了我国第一个针对餐厨垃圾的国家标准——《餐厨垃圾资源利用技术要求》之外,目前在编或者已经纳入近期标准制定计划的有:(1)产品国家标准:《餐厨垃圾利用技术要求》、《餐厨废油资源回收和深加工技术标准》(我国第二个针对餐厨垃圾的国家标准)、《餐厨垃圾资源化产物安全质量标准》;(2)工程建设行业标准:《餐厨垃圾处理技术规范》(2010 征求意见稿)、《餐厨垃圾处理厂运行维护技术规程》(2009 年 12 月报批稿);(3)产品行业标准《餐厨垃圾脱水机》、《餐厨垃圾处理场技术规范》等。

根据餐厨垃圾处理中存在的问题,相关部门 2010 年就曾多次发出应对通知/意见:“关于严防‘地沟油’流入餐饮服务环节的紧急通知”(食药监办食[2010]25 号),严防餐饮企业使用“地沟油”;《关于组织开展城市餐厨废弃物资源化利用和无害化处理试点工作的通知》(发改办环资[2010]1020 号),拟选择部分具备相关政策法规,并在餐厨废弃物资源化、无害化处理上有一定基础的城市,开展餐厨废弃物资源利用试点工作,探索中国餐厨废弃物处理问题的有效解决途径。“关于加强地沟油整治和餐厨废弃物管理的意见”(国办发[2010]36 号),要求各级政府开展“地沟油”专项整治、加强餐厨废弃物管理,推进餐厨废弃物资源化利用和无害化处理。

3.3 未建立有效分类收集机制,法律法规不健全

餐厨垃圾“三化”处理的一个重要前提是生活垃圾分类投放。中国在北京、上海和杭州等城市设置了餐厨垃圾分类收集试点,但目前仅有广州市出台了《广州市城市生活垃圾分类管理暂行规定》,明文要求将生活垃圾分为四类:可回收物、餐厨垃圾、有害垃圾和其他垃圾;大多数家庭餐厨垃圾仍与其他生活垃圾混合堆放或者直接排入下水道,缺乏合理的分类收集措施。广州市越秀区南山街生活垃圾分类试点一年后,分类垃圾桶因无人维护而破损严重,仅有少数市民坚持垃圾分类,而更令人寒心的是环卫系统把居民分类投放的生活垃圾混合运输^[40]。

北京、上海、杭州、深圳、乌鲁木齐、宁波、苏州等城市根据各自实际相继颁布了餐厨垃圾的管理办法或法律法规(表 1),但是目前国家层面的《餐厨垃圾管理办法》尚未出台。地方性餐厨垃圾管理办法也存在诸多问题:出台城市为数不多,属于地方性法规的仅有《西宁市餐厨垃圾管理条例》;相应法律及政府规章实施年限短,未积累充分的管理经验;绝大多数城市的餐厨垃圾管理办法中虽然明文规定不法处理餐厨垃圾将被罚款,但配套的监管细则如罚款执行、罚款去向/用途却没有出台,难以服众;同时,对餐厨垃圾资源化处理缺乏一个统一的技术标准。可以说,国内绝大多数城市的餐厨垃圾仍处在“无法可依”的状态,大量餐厨垃圾流向不明,出现了正规餐厨垃圾处理企业收集不到餐厨垃圾无以为继的局面^[41]。

3.4 现有技术经济价值不高,处理难彻底

少数大中城市在餐厨垃圾资源化上先行一步,扶助生物技术企业,利用新兴的生物科技来处理餐厨垃圾(表 2)。由于采用的核心处理技术不同,我国餐厨垃圾处理形成了所谓的“四大模式”:“北京模式”多以厌氧消化(如北京董村生活垃圾综合处理厂的 Biomax 湿式厌氧消化工艺)技术为中心,“西宁模式”以饲料化技术为主,“上海模式”则采用动态好氧消化——此技术多用于污水处理,而“宁波模式”则生产菌体蛋白、饲料添加剂和工业油脂。可见,目前国内餐厨垃圾处理技术主要集中在厌氧消化、饲料加工、好氧堆肥及工业油脂化上,部分企业生产菌体蛋白。

目前大部分餐厨垃圾处理技术经济价值并不高,如杭州从餐厨垃圾中提炼工业用油和制成饲料蛋白粉,

表 1 中国部分城市餐厨垃圾产量及相关管理法规/文件

Table 1 The yield of food waste and related regulations / files in some cities of China

城市 City	年产量* (万 t) Yield (10000t/a)	报道年份 Year	管理办法及其实施时间 Regulations/Files and Running Time
广州	52.02	2010	《广州市餐厨垃圾处理管理办法》(征求意见稿) 2011 《广州市城市生活垃圾分类管理暂行规定》2011-4-1
兰州	46.8	2010	《兰州市餐厨垃圾集中处置管理暂行规定》2010-5-1
昆明	50.4	2007	《昆明市餐厨垃圾处理管理办法》(听证稿) 2010-5-31
北京	61.2	2009	《北京市餐厨垃圾收集运输处理管理办法》2006-1-1
西宁	18	2011	《西宁市餐厨垃圾处理管理条例》2009-11-1
长沙	18	2010	《长沙市餐厨垃圾管理办法》2011-6-11
重庆	180	2009	《重庆市餐厨垃圾管理办法》2009-9-1
成都	28.8	2010	《成都市餐饮服务单位餐厨垃圾管理实施细则》2010-9-1 试行
杭州	27.14	2008	《杭州市餐厨垃圾处置管理暂行办法》2003-4-21
宁波	10.3	2010	《宁波市餐厨垃圾管理办法》2006-12-1
银川	5.4	2010	《银川市餐厨垃圾处置和管理办法》2007-8-31
乌鲁木齐	10.8	2011	《乌鲁木齐市餐厨垃圾管理办法》2007-12-1
苏州	14.4—18	2011	《苏州市餐厨垃圾管理办法》2010-3-1
石家庄	7.2	2010	《石家庄市餐厨垃圾处理管理办法》2007-9-1
上海	39.6—43.2	2001	《上海市餐厨垃圾处理管理办法》2005-4-1 《上海市餐厨垃圾自行收运管理办法》2006-7-11
深圳	85.68	2010	《深圳市餐厨垃圾管理暂行办法》2007-10-1

(1) 产量根据相关报道统一换算成年产量(30×12=360d);(2) 部分已经出台相关管理办法的中小城市并未列出

表 2 国内城市部分餐厨垃圾资源化处理企业概况

Table 2 An overview of a part of food waste treatment enterprises in China

城市 City	企业名称 Enterprise	政府投资/ 总投资(/万元) Government Investment / Total Investment (/ ¥10000)	处理量 Capacity (/ t/d)	核心技术 Core Technologies	运行年份 Running Time
北京	高安屯餐厨垃圾处理厂	12000/12000	400	高温微生物发酵/加工饲料/好氧堆肥	2008
	南宫餐厨垃圾处理厂	2200/2200	200	厌氧堆肥/工业油脂化	2007
	怀柔餐厨垃圾处理厂	350/500	15	好氧堆肥/厌氧发酵	2008
上海	上海绿铭环保科技有限公司	—	100	加工饲料	—
宁波	宁波开诚生态技术有限公司	—/4000	200	厌氧消化/好氧堆肥/工业油脂化	2005
西宁	青海洁神环境能源产业有限公司	6600(BOT*)	200	蛋白饲料/厌氧消化/生物柴油	2007
兰州	甘肃驰奈生物能源系统有限公司	11300(BOT*)	200	厌氧消化/好氧堆肥/工业油脂化	在建
重庆	重庆餐厨垃圾处理厂	? /24000	500	厌氧消化/好氧堆肥/生物柴油	在建

建设-经营-转让 (build-operate-transfer ,BOT) ,是指政府通过契约授予民营企业(包括外国企业) 以一定期限的特许专营权 ,许可其融资建设和经营特定的公用基础设施 ,并准许其通过向用户收取费用或出售产品以清偿贷款 ,回收投资并赚取利润; 特许权期限届满时 ,该基础设施无偿移交给政府

处理成本在 165 元/t ,而每吨餐厨垃圾大约能从生产工业用油和蛋白粉上回收 50—60 元^[42]。齐玉梅等^[43]根据上海餐厨垃圾大中型处理技术种类、工艺水平 ,分别抽取了制作有机肥、饲料和精制肥料 3 个具有代表性的处理厂产品 ,综合分析餐厨垃圾收运处理成本 ,发现三者每加工 1 t 餐厨垃圾的经济收益为-49 元、425 元和-88 元。仅有制作饲料能少量盈利 ,其余都要亏本 ,而鉴于食物链风险 ,用餐厨垃圾制作饲料需要谨慎考虑。陈冰等^[44]应用生命周期模型评价餐厨垃圾处理技术 ,得出厌氧发酵、好氧堆肥、饲料化技术和小型生化处理机的单位处理成本为 2.1、5.65、0.37 和 1.4 元·人⁻¹·a⁻¹ ,并认为餐厨垃圾处理项目只有部分产品收入 ,补贴是餐厨垃圾处理技术发展的支撑。

而且,大部分餐厨垃圾处理企业对餐厨垃圾处理并不彻底,通常将餐厨垃圾液体部分留给城市污水处理系统处理,而其中的高盐分不利于微生物生长、易于腐蚀设备,加重了污水处理系统的负担。

3.5 餐厨垃圾处理企业严重依赖地方政府

根据国家四部委联合发(计价格[2002]872号)《实行城市生活垃圾处理收费制度促进垃圾处理产业化的通知》和建设部令157号《城市生活垃圾管理办法》等相关文件精神,对生活垃圾应该实行有偿处置,许多地方政府通过对生活垃圾产生单位征收“垃圾处置费”,并将部分费用补贴餐厨垃圾处理企业。

现阶段餐厨垃圾处理企业不仅在财政上依赖于地方政府,需要地方政府大量投资进行基础设施建设(或特许融资)(表2)及餐厨垃圾收运补贴,如“西宁模式”每年需西宁政府向餐厨垃圾处理企业(青海洁神环境能源产业有限公司)提供近千万元的补贴才能做到收支平衡^[45];在收集政策上也需地方政府大力支持,如河南省郑州市金水区的餐厨垃圾处理厂试运行成功后因收不到餐厨垃圾被迫闲置近1a。

4 制约中国餐厨垃圾处理的瓶颈问题

目前国内大规模资源化处理餐厨垃圾存在的问题,可以概括为管理瓶颈和技术瓶颈两个方面。

4.1 管理瓶颈

主要包括以下几方面:(1)餐厨垃圾危害及资源化意识普及程度不够,大多数人仍未意识到餐厨垃圾危害性的一面,多以传统方式直接饲喂畜禽;(2)餐厨垃圾法律法规不健全,监管力度和执行力度有待提高;(3)尚未建立行之有效的餐厨垃圾分类收集机制及规范的收运方式,非法收运和不当收运现象普遍存在;(4)餐厨垃圾处理基础设施建设薄弱,仅有少数大中城市存在少量专门从事餐厨垃圾处理的企业、缺乏专门的餐厨垃圾收集容器和运输车辆、政府扶植的餐厨垃圾示范性处理工厂少。

4.2 技术瓶颈

(1)已有餐厨垃圾处理技术资源化水平低、处理难彻底。现投入运营的餐厨垃圾处理厂,主要处理技术为厌氧消化、制作饲料添加剂、生产工业油脂,剩下的残渣/残液多用来制作有机肥料或需另法处理。多数企业存在流程长、处理效率低、技术水平普遍不高、作业环境较差及处理不彻底等缺点。

(2)现有餐厨垃圾产品经济效益低。产品附加值低,产品销售困难;多数餐厨垃圾处理企业经济效益低下,无法做到对餐厨垃圾付费收集,要靠政府从餐厨垃圾产生单位征收处理费转而补贴企业,这一落差使得餐厨垃圾产生单位在利益驱使下,把餐厨垃圾卖给非法商贩而获利。这是餐厨垃圾非法流向的根本利益驱动链,同时也是连接管理瓶颈的关键所在,一旦得到阻断,对餐厨垃圾有效管理将起到极大的促进作用。

5 对策与展望

5.1 管理瓶颈的对策——完善管理和处理体系

针对餐厨垃圾管理上的问题,高效高产值处理餐厨垃圾需要遵循以下原则:(1)充分宣传餐厨垃圾危害性的一面、提高民众环保意识;(2)政府引导,强力推进,对餐厨垃圾处理企业在土地、原料收运、产品销售等环节实行政策优惠;(3)制定法律法规,严格监管,从源头上截断餐厨垃圾不当流向;(4)使用专业器材集中收运,避免二次污染;(5)应用资源化技术专业处置,实现餐厨垃圾的高效回收及高产值利用;(6)充分发挥市场作用,使资源化产品能顺利销售,实现经济价值,使餐厨垃圾处理公司形成良性竞争,甚至可出钱收集餐厨垃圾,阻断餐厨垃圾非法流向的利益链。

垃圾分类制度的建立、罚款的执行、收集设施的购买/维护、环卫部门的监督以及餐厨垃圾的最终处置,如果没有政府相关部门的严格监控和认真执行,再好的法律与政策也只会沦为口号。在出台相应法规文件之后,提高政府相关部门的监管、执行力度首当其冲并须一以贯之。

相信随着中国对餐厨垃圾资源化认识的加深,国民素质的提高,相应的法律法规及行政监管体系逐步出台(如正在征求意见的《餐厨垃圾资源化技术标准》),管理瓶颈将逐步得到缓解乃至消除。

5.2 技术瓶颈的对策——综合利用已有技术及开发新技术

(1)综合利用已有技术

餐厨垃圾成分的复杂性决定了使用单一的现有处理技术难以完成高效高产值处理,对餐厨垃圾进行组分分离、综合运用已有的处理技术似乎是必然的道路。将收集到的餐厨垃圾经过初步去除杂物后,利用离心或者压榨等手段得到有机质干渣和油水混合物。有机质干渣用来发酵或制作饲料添加剂;油水混合物再次分离后,油脂可用于生产生物柴油,而最终剩下的水分除了较高浓度盐分之外,亦含有丰富的有机质,可以利用相应微生物进行发酵生产能源气体。国内餐厨垃圾处理“宁波模式”是综合利用各种技术的典范。

综合处理对餐厨垃圾处理彻底,资源化程度高,产品多样化,经济价值有保证;但是由于涉及技术种类较多,工艺综合性强,处理流程加长,对工艺连续性、操作人员操作水平及设备单机性能有更高的要求,同时占用场地大、设备种类多,工程投资巨大。这决定了小型投资者难以从事该产业获利,适合在政府部门大力支持下的大中投资者。

(2) 开发新技术

现有餐厨垃圾处理技术的复杂性和低经济价值使得小投资者及普通民众难以从事该行业而获利,大中投资者亦迫切需要政府的政策和财政支持。有限的餐厨垃圾处理企业使得餐厨垃圾的处理量远远赶不上产生量,对日益严重的“垃圾围城”现象起不到有效遏制作用。

餐厨垃圾处理企业在餐厨垃圾处理过程中防治不当而滋生的大量苍蝇,将对餐厨垃圾处理企业和临近生活区带来危害。使用杀虫剂缓解苍蝇的危害则会引进新的毒素,生产饲料达不到食品安全的要求。但如果跳出防治苍蝇的思维定势,利用自然滋生的苍蝇来处理餐厨垃圾可能会是一种理想的方法。

蝇类昆虫嗅觉灵敏,能迅速找到环境中的有机废弃物;在生态系统中,蝇类幼虫(蝇蛆)扮演着动植物分解者的重要角色,由于具有杂食性,各种腐败发酵的有机物都可成为它们的食物;此外,蝇类昆虫含有丰富的抗菌肽和多种酶类,在充分分解利用餐厨垃圾时还能对有机质中的各种病原微生物、寄生虫卵等进行灭杀。饲养蝇类昆虫,将餐厨垃圾中的有机质转换成蝇类本身组成物质,再利用蝇类昆虫作饲料或者生物质来源,则能从根本上杜绝同源性蛋白的安全隐患。可见,利用蝇类来处理餐厨垃圾会是一项“环境友好型技术”,完全可能与蚯蚓堆肥媲美。

通过对浙江宁波铜盆浦大型垃圾填埋场滋生的蝇类进行调查,发现大头金蝇、家蝇、麻蝇、丝光绿蝇和巨尾阿丽蝇构成比分别为 45.93%、29.85%、1.26%、13.86% 和 9.10%^[46]。而大头金蝇、家蝇、麻蝇、丝光绿蝇和巨尾阿丽蝇的发育历期分别为:7.8d (28℃)^[47]、11d (25℃)^[48]、16d (25℃)^[49]、20.6d (21℃)^[50]、20.6d (19.5℃)^[50]。因此,蝇类的繁殖速率要远远高于蛆堆(蚯蚓从卵到成虫要 3—4 个月),高繁殖速率再加上蝇类巨大的产卵量,对餐厨垃圾的处理效率将会相当可观。此外,蝇类是从餐厨垃圾上自然滋生,说明蝇类可以适应各种自然条件下的餐厨垃圾:餐厨垃圾的高油脂、高盐分、堆置后 pH 值变低对其限制相对较少,因而具有更广阔的适应能力。

利用蝇蛆处理餐厨垃圾,能综合多项技术的优势。可以不用分离油脂和盐分就能处理餐厨垃圾,流程短、工艺简单、对设备和场地要求不高,能 100% 处理餐厨垃圾,同时无论是养出的蝇蛆还是余料所产生的生物肥,经济价值都较高,适合小投资者甚至普通民众。同时也可以综合利用多项技术时专门用来处理餐厨垃圾中的有机质干渣,供大型餐厨垃圾处理企业选择。

References:

- [1] Westendorf M L, Dong Z C, Schoknecht P A. Recycled cafeteria food waste as a feed for swine: nutrient content digestibility, growth, and meat quality. *Journal of Animal Science*, 1998, 76(12): 2976–2983.
- [2] Pan L A, Zhang G L, Shi J, Xu L X. Experimental study of food waste. *Cereals and Oils Processing*, 2009, (9): 154–156.
- [3] Lee Y W, Chung J. Bioproduction of hydrogen from food waste by pilot-scale combined hydrogen/methane fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2010, 35(21): 11746–11755.
- [4] Li R P, Ge Y J, Wang K S, Li X J, Pang Y Z. Characteristics and anaerobic digestion performances of kitchen wastes. *Renewable Energy Resources*, 2010, 28(1): 76–80.
- [5] Liu M. Hazards exploration on livestock breeding and feed processing of food waste. *Gansu Farming*, 2006, (11): 164–164.
- [6] Xinhua Net. Food waste: hazardous and valuable resources. (2009–01–07) [2011–05–14]. <http://news.xinhuanet.com/life/2009-01/07/>

content_10615418.htm.

- [7] Zhang H Y, Zhao Y C, Qi J Y. Utilization of municipal solid waste incineration (MSWI) fly ash in ceramic brick: product characterization and environmental toxicity. *Waste Management*, 2011, 31(2): 331-341.
- [8] Cheng H F, Zhang Y G, Meng A H, Li Q H. Municipal solid waste fueled power generation in China: a case study of waste-to-energy in Changchun City. *Environmental Science and Technology*, 2007, 41(21): 7509-7515.
- [9] Cyranoski D. Waste management: one man's trash... *Nature*, 2006, 444(7117): 262-263.
- [10] Chen H, Pu G X. Analysis on the management system of Korean Urban living wastes. *The Contemporary World*, 2010, (11): 57-59.
- [11] Shimizu S, Fujisawa A, Mizuno O, Kameda T, Yoshioka T. Fermentative hydrogen production from food waste without inocula. *AIP Conference Proceedings*, 2008, 987(1): 171-174, 185-185.
- [12] Kim D H, Kim S H, Shin H S. Hydrogen fermentation of food waste without inoculum addition. *Enzyme and Microbial Technology*, 2009, 45(3): 181-187.
- [13] Zhang R H, El-Mashad H M, Hartman K, Wang F Y, Liu G Q, Choate C, Gamble P. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 2007, 98(4): 929-935.
- [14] Jo J H, Lee D S, Park D, Park J M. Biological hydrogen production by immobilized cells of *Clostridium tyrobutyricum* JM1 isolated from a food waste treatment process. *Bioresource Technology*, 2008, 99(14): 6666-6672.
- [15] Kim J K, Nhat L, Chun Y N, Kim S W. Hydrogen production conditions from food waste by dark fermentation with *Clostridium beijerinckii* KCTC 1785. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2008, 13(4): 499-504.
- [16] Han S K, Shin H S. Performance of an innovative two-stage process converting food waste to hydrogen and methane. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2004, 54(2): 242-249.
- [17] Chu C F, Li Y Y, Xu K Q, Ebie Y, Inamori Y, Kong H N. A pH-and temperature-phased two-stage process for hydrogen and methane production from food waste. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2008, 33(18): 4739-4746.
- [18] Chu C F, Ebie Y, Xu K Q, Li Y Y, Inamori Y. Characterization of microbial community in the two-stage process for hydrogen and methane production from food waste. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2010, 35(15): 8253-8261.
- [19] Kim J K, Oh B R, Shin H J, Eom C Y, Kim S W. Statistical optimization of enzymatic saccharification and ethanol fermentation using food waste. *Process Biochemistry*, 2008, 43(11): 1308-1312.
- [20] Lim S J, Kim B J, Jeong C M, Choi J D R, Ahn Y H, Chang H N. Anaerobic organic acid production of food waste in once-a-day feeding and drawing-off bioreactor. *Bioresource Technology*, 2008, 99(16): 7866-7874.
- [21] Wang Q H, Wang X Q, Wang X M, Ma H Z. Glucoamylase production from food waste by *Aspergillus niger* under submerged fermentation. *Process Biochemistry*, 2008, 43(3): 280-286.
- [22] Ye Z L, Lu M, Zheng Y, Li Y H, Cai W M. Lactic acid production from dining-hall food waste by *Lactobacillus plantarum* using response surface methodology. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2008, 83(11): 1541-1550.
- [23] Ye Z L, Zheng Y, Li Y H, Cai W M. Use of starter culture of *Lactobacillus plantarum* BP04 in the preservation of dining-hall food waste. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2008, 24(10): 2249-2256.
- [24] Sasaki K, Aizaki H, Motoyama M, Ohmori H, Kawashima T. Impressions and purchasing intentions of Japanese consumers regarding pork produced by 'Ecofeed', a trademark of food-waste or food co-product animal feed certified by the Japanese government. *Animal Science Journal*, 2011, 82(1): 175-180.
- [25] Sugiura K, Yamatani S, Watahara M, Onodera T. Ecofeed, animal feed produced from recycled food waste. *Veterinaria Italiana*, 2009, 45(3): 397-404.
- [26] Wang X H, Li G W, Meng H, Ma L, Zhao G J. Discussion on treatment status of food residue. *Environmental Sanitation Engineering*, 2005, 13(2): 41-43.
- [27] Gao Z Y. A research overview of single cell protein. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2009, 41(8): 111-112.
- [28] Mei Y W. Food waste will be translate into bio-fertilizers and bio-feed-the introduction of BGB reusable technology. *Science and Culture*, 2009, (4): 19.
- [29] de Araújo A S F, de Melo W J, Singh R P. Municipal solid waste compost amendment in agricultural soil: changes in soil microbial biomass. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 2010, 9(1): 41-49.
- [30] Ke G R, Lai C M, Liu Y Y, Yang S S. Inoculation of food waste with the thermo-tolerant lipolytic actinomycete *Thermoactinomyces vulgaris* A31 and maturity evaluation of the compost. *Bioresource Technology*, 2010, 101(19): 7424-7431.
- [31] Niwagaba C, Nalubega M, Vinnerås B, Sundberg C, Jönsson H. Substrate composition and moisture in composting source-separated human faeces and food waste. *Environmental Technology*, 2009, 30(5): 487-497.
- [32] Gao D, Zhang H Y, Li G X, Jiang T, Deng H, Zhang W. Effects of waste heat and microbial agents on composting efficiency and greenhouse gas emissions reduction of municipal solid wastes. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(10): 264-271.
- [33] National Bureau of Statistics of China. *China Statistical Yearbook, 2004—2011*. Beijing: China Statistics Press.
- [34] Jamaludin A A, Mahmood N Z. Effects of vermicomposting duration to macronutrient elements and heavy metals concentrations in vermicompos. *Sains Malaysiana*, 2010, 39(5): 711-715.
- [35] Sim E Y S, Wu T Y. The potential reuse of biodegradable municipal solid wastes (MSW) as feedstocks in vermicomposting. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(13): 2153-2162.
- [36] Majumdar D, Patel J, Bhatt N, Desai P. Emission of methane and carbon dioxide and earthworm survival during composting of pharmaceutical sludge and spent mycelia. *Bioresource Technology*, 2006, 97(4): 648-658.

- [37] Tripathi G, Bhardwaj P. Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg). *Bioresource Technology*, 2004, 92(3): 275–283.
- [38] Shen C Q, Ma X Q. The kitchen waste utilization of Guangzhou. *Environmental Pollution and Control*, 2010, 32(11): 103–106.
- [39] Yan D F. Present management policies of food residue. *Environmental Sanitation Engineering*, 2010, 18(3): 32–35.
- [40] Tian E X, Xu W T. China's first municipal solid waste management category regulations faced the difficulty to implement: Waste Separation Requirements, another dead letter? *Yangcheng Evening News*, 2011-02-27 (Section A02).
- [41] Leng B X. Food waste loss, the formal devices lack scope for their abilities. *Shenzhen Special Zone Daily*, 2010-11-11 (Section A25).
- [42] China Bio Energy Net. Food waste disposal technologies and local examples. (2007-12-13) [2011-05-13]. http://www.bioenergy.cn/web/application/200712/application_20071213094546_156325.shtml.
- [43] Qi Y M, Wang Z, Li Y F. Analysis of food residue collection-transportation and treatment cost in Shanghai city. *Environmental Sanitation Engineering*, 2008, 16(3): 47–49.
- [44] Chen B, Feng J, Huang W X, Liu C. Life cycle assessment of treatment technology for food waste. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2011, 5(8): 1857–1862.
- [45] Xinhua Net. Analysis on "Xining" food waste processing mode: government-enterprise cooperation is the key to success. (2010-08-03) [2011-05-13]. http://www.qh.xinhuanet.com/2010-08/03/content_20511923.htm.
- [46] Ma X, Zhu G F, Shao G W, Xu M, Ren J X. Analysis on fly distribution and density variation in rubbish field. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides and Equipments*, 2006, 12(4): 301–303.
- [47] Wu D P, Mao R Q, Guo M F, Zhou J, Ou G S, Jia F L, Zhang R J. Effects of temperature on growth of *Chrysomya megacephala* (Diptera: Calliphoridae) and its basic research in the estimation of postmortem intervals. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 32(3): 318–321.
- [48] Wang Z Y, Mo J C. Difference in oviposition preference and development between *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) and *Chrysomya megacephala* (Diptera: Calliphoridae) on wheat bran and pork muscle. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52(11): 1280–1284.
- [49] Wang H Y, Shi Y W, Liu X S, Zhang R J. Growth and development of *Boettcherisca peregrina* under different temperature conditions and its significance in forensic entomology. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 32(2): 166–172.
- [50] Chen L S. A study and presuming death time by accumulated temperature and insect growth period. *Chinese Journal of Forensic Medicine*, 2007, 22(4): 236–237.

参考文献:

- [2] 潘丽爱, 张贵林, 石晶, 徐立新. 餐厨垃圾特性的试验研究. *粮油加工*, 2009, (9): 154–156.
- [4] 李荣平, 葛亚军, 王奎升, 李秀金, 庞云芝. 餐厨垃圾特性及其厌氧消化性能研究. *可再生能源*, 2010, 28(1): 76–80.
- [5] 刘敏. 对餐厨垃圾进行畜禽养殖和饲料化处理的危害探析. *甘肃农业*, 2006, (11): 164–164.
- [6] 新华网. 餐厨垃圾: 危险而宝贵的资源. (2009-01-07) [2011-05-14]. http://news.xinhuanet.com/life/2009-01/07/content_10615418.htm.
- [10] 陈浩, 朴光玄. 韩国城市生活垃圾管理制度探析. *当代世界*, 2010, (11): 57–59.
- [26] 王向会, 李广魏, 孟虹, 马琳, 赵国珏. 国内外餐厨垃圾处理状况概述. *环境卫生工程*, 2005, 13(2): 41–43.
- [27] 高志勇. 单细胞蛋白研究概况. *畜牧与兽医*, 2009, 41(8): 111–112.
- [28] 梅耀武. 将餐厨垃圾变为生物肥料和生物饲料——BGB餐厨垃圾资源化处理技术介绍. *科技潮*, 2009, (4): 19–19.
- [32] 高丹, 张红玉, 李国学, 江滔, 邓辉, 张玮. 余热和菌剂对垃圾堆肥效率及温室气体减排的影响. *农业工程学报*, 2010, 26(10): 264–271.
- [33] 中华人民共和国国家统计局. 《中国统计年鉴》, 2004–2011. 北京: 中国统计出版社.
- [38] 沈超青, 马晓茜. 广州市餐厨垃圾不同处置方式的经济与环境效益比较. *环境污染与防治*, 2010, 32(11): 103–106.
- [39] 严锦飞. 餐厨垃圾现行管理政策分析. *环境卫生工程*, 2010, 18(3): 32–35.
- [40] 田恩祥, 徐文婷. 国内第一部城市生活垃圾分类管理规定面临难以落实的窘境: 垃圾分类规定, 又是一纸空文? *羊城晚报*, 2011-02-27 (A02).
- [41] 冷雪冰. 餐厨垃圾多流向“地下”, 正规设备无用武之地. *深圳特区报*, 2010-11-11 (A25).
- [42] 中国生物能源网. 餐厨垃圾处理处置技术及各地实例. (2007-12-13) [2011-05-13]. http://www.bioenergy.cn/web/application/200712/application_20071213094546_156325.shtml.
- [43] 齐玉梅, 王震, 李雅芳. 上海市餐厨垃圾收运处理成本分析. *环境卫生工程*, 2008, 16(3): 47–49.
- [44] 陈冰, 封静, 黄文雄, 刘畅. 应用生命周期模型评价餐厨垃圾处理技术. *环境工程学报*, 2011, 5(8): 1857–1862.
- [45] 新华网. 解读餐厨垃圾处理“西宁模式”: 政企合作是关键. (2010-08-03) [2011-05-13]. http://www.qh.xinhuanet.com/2010-08/03/content_20511923.htm.
- [46] 马晓, 朱光峰, 邵国文, 徐明, 任建新. 垃圾填埋场蝇类分布及密度消长监测资料分析. *中华卫生杀虫药械*, 2006, 12(4): 301–303.
- [47] 吴殿鹏, 毛润乾, 郭明昉, 周健, 欧桂生, 贾凤龙, 张润杰. 温度对大头金蝇生长发育的影响及其用于 PMI 推断的探讨. *环境昆虫学报*, 2010, 32(3): 318–321.
- [48] 王争艳, 莫建初. 家蝇和大头金蝇在麦麸和猪瘦肉上的产卵选择和发育差异. *昆虫学报*, 2009, 52(11): 1280–1284.
- [49] 汪海洋, 时薇薇, 刘小山, 张润杰. 不同温度条件下棕尾别麻蝇的生长发育及其在法医学上的意义. *环境昆虫学报*, 2010, 32(2): 166–172.
- [50] 陈禄仕. 利用积温和昆虫发育历期推测死亡时间的研究. *中国法医学杂志*, 2007, 22(4): 236–237.