

环保与安全

厨余垃圾的资源化技术

汪群慧 马鸿志 王旭明 汲永臻

(哈尔滨工业大学环境科学与工程系, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:介绍了厨余垃圾的来源与特征,讨论了厨余垃圾的资源化技术:主要包括堆肥、厌氧发酵、真空油炸、蚯蚓生物处理、乳酸发酵以及生物制氢等,其中家庭垃圾处理机和小容量垃圾系列处理机堆肥技术具有费用低和实现源头减量化等优点。生物制氢、厌氧发酵和燃料电池发电系统的开发研究,为废物变清洁能源开辟了新的途径。此外,利用厨余垃圾制取乳酸,进而合成生物降解性塑料(聚乳酸)的技术,可为治理困扰人类的“白色污染”作出贡献。

关键词:厨余垃圾;资源化;堆肥;生物降解塑料

中图分类号:X705

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2004)07-0056-04

Resource recycling technology of food wastes

WANG Qun-hui, MA Hong-zhi, WANG Xu-ming, JI Yong-zhen

(Department of Environmental Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: The source and the characteristics of food wastes are introduced. The recycling technologies for the wastes, such as composting, anaerobic digestion, deep-fry in vacuum, biotechnology with earthworm, fermentative production of lactic acid as well as biological hydrogen production are discussed. The use of family processors of small volume for the decomposition of food wastes, which cost less and can decrease wastes from the source, is an ideal technology. Biological hydrogen production and the technique of the anaerobic digestion combined with the fuel cell generating system provide a new way for the transition from wastes to energy. Furthermore, the utilization of biodegradable plastics (poly-lactic acid) synthesized by lactic acid produced from food wastes can help to get rid of the problem of the “white pollution”.

Key words: food wastes; recycling; composting; biodegradable plastic

近年来随着城市生活设施和居住条件的改善,以往城市垃圾以炉灰、煤渣等为主的情况发生了变化,厨余垃圾的发生量有越来越大的趋势。我国一些城市厨余垃圾占城市生活垃圾的比例为:北京 37%,天津 54%,上海 59%,沈阳 62%,深圳 57%,广州 57%,济南 41%^[1]。近年来,北京厨余垃圾呈稳步上升趋势,每天的产生量达 1 600 t 以上;上海市每天厨余垃圾的产生量超过 1 300 t。笔者在此对城市生活垃圾中含量较多的厨余垃圾资源化问题进行探讨。

1 厨余垃圾的特征及其管理现状

厨余垃圾是居民在生活消费过程中形成的生活废物,居民区、饭店、各种企事业单位的食堂是其集中排放的场所。尽管厨余垃圾的组成、性质和产生

量受社会经济条件、地区差异、居民生活习惯、饮食结构、季节变化的不同而有所差别,但具备如下总体特征^[2]:

(1)高含水率。厨余垃圾的含水率高(水的质量分数大于 80%),这给其收集、运输和处理都带来很大的难度。垃圾渗滤水可通过地表径流和渗透作用,污染地表水和地下水,而且由于厨余垃圾单位质量的热值在 2 100 kJ/kg 左右,不能满足垃圾焚烧发电的热值要求。

(2)易腐烂。厨余垃圾中有机物含量高(约占干物质质量的 95%以上),易腐败发臭,易滋生细菌,会造成疾病的传播^[3]。

(3)营养丰富。除了有机物含量高之外,厨余垃圾还富含氮、磷、钾、钙以及各种微量元素,具有营养元素齐全、再利用价值高的特点。

收稿日期:2004-03-24;修回日期:2004-04-21

项目基金:国家自然科学基金委员会与中国节能投资公司联合研究基金资助项目(50278024);哈尔滨工业大学跨学科交叉性研究基金资助项目(HIT.MD.2001.32)

作者简介:汪群慧(1959-),女,博士,教授,博士生导师,主要从事固体废物资源化生物技术及环境电化学的研究,0451-86418414, wangqh59@hit.edu.cn。

厨余垃圾的以上特征表明,一方面具有较高的利用价值,另一方面必须对其进行适当的处理,才能得到社会效益、经济效益和环境效益的统一。

由于饮食上的差异,中国人厨余垃圾的种类远远多于西方人,包含大量易于腐烂的肉类及蔬菜垃圾,而且不易分类。长期以来,厨余垃圾在我国一直作为生猪的饲料,并一直通过市场渠道自行寻找出路。这种处理方式存在很多问题:①垃圾含水率较高,流动性较大,非常容易泄漏,造成二次污染,影响环境卫生;②垃圾车严重影响城市日常交通;③这些垃圾未经任何处理,有的在运输途中就已变质,喂出猪的卫生情况堪忧。自2000年11月起,北京和上海已先后明令禁止清运这类垃圾的三轮车进城,厨余垃圾的出路成了令人头痛的难题。另外,许多生活垃圾堆放场周围的居民将猪等畜禽放到堆放场去饲养,这些吃了腐烂变质垃圾的“垃圾猪”和畜禽,将是引起各种疾病和传染病的根源。鉴于此,国内外对厨余垃圾就地处理技术展开了广泛研究^[4]。

2 厨余垃圾资源化技术

2.1 堆肥处理技术

堆肥法是将垃圾堆积在地面或置于某种发酵装置中,也可根据情况配入适量的粪便和粉煤灰等作为蓬松剂^[5],利用微生物将垃圾中易降解有机物逐步降解,最终形成稳定的腐殖质^[6-8]。席北斗等^[9]针对城市垃圾和污泥的混合堆肥系统,应用了高效的复合微生物,即EM菌群,使垃圾加速腐熟。在日本,利用EM菌群,将其加入到厨房垃圾中,避光保存,进行堆肥。夏天5~7天可以堆肥完全,冬天10~15天即可完成堆肥过程。由于我国城市垃圾的收集以混合收集为主、分选效果差,垃圾中所含玻璃、塑料、碎石块等杂质不会在堆肥过程中被分解,导致所得肥料质量差,病原微生物未得到彻底消除,肥料中重金属含量也高,农民不愿意使用,堆肥销路不畅,使大部分堆肥厂处于停产状态。

韩国 Geoen Tech 公司与德国 Rethmann 公司合作开发了集装箱堆肥法^[10]。由封闭集装箱反应器和多层生物过滤器组成,一般由20个以上的集装箱并联,每个箱体50 m³,堆肥周期15~20天,所产生的气体可以回收利用,最后剩下无机物系不能利用则卸出送去作土壤的回填材料。

考虑到经济性、臭味控制和场地等条件,大型反应器、强制通风静态垛和条垛堆肥系统受到了极大的限制。因此,近5年来,堆肥设备正向小型化、移

动化和专用化的趋势发展。例如,英国 County Mulch 公司建造了2套可移动堆肥系统(容积为30.584~38.230 m³),形状类似滚式集装箱,进料采用斗式装载机,出料时吊车把集装箱吊起,物料从集装箱的后门倒出来;采用计算机控制温度和氧含量。

1995年,美国西雅图(Seattle)41%的居民家庭实行了家庭堆肥,有研究表明,路边收集、集中堆肥和家庭堆肥的处理费用分别为140、190、50美元/t;而且家庭堆肥可以减少试验区居民垃圾量的30%~50%。与集中、大规模的堆肥系统相比,家庭堆肥具有费用低和实现源头减量化等优点。近二三年来,家庭垃圾堆肥处理机和小容量垃圾系列处理机在日本的市场迅速扩大,每年的增幅约50%,它与家用洗碗机、电磁加热器被并称为日本家庭的“新三件”。目前日本市场上的家庭垃圾处理机主要有生物分解式和干热式2种。生物分解式垃圾处理机的原理就是人为制造一个近似自然的堆肥过程,绝大部分垃圾被分解为水和二氧化碳,少部分成为有机肥,可使垃圾减量85%~95%;干热式垃圾处理机与一般的垃圾筒一样,消费者把垃圾随手一扔,按一下电钮即可,经2~3 h加热干燥,垃圾体积可减少80%以上,垃圾变成黑黑的渣滓,但此残渣要在自然环境下经过“二次发酵”才能真正变成有机肥。

另一方面,以住宅小区作为垃圾初级处理的基本单位,利用占地面积不大且异味较少的小规模垃圾处理设备对住宅区内用户排出的厨余垃圾进行处理,由市政部门来管理和运营,可制得高质量的肥料。小容量垃圾处理机为居民小区、宾馆、餐厅、集贸市场、食品水产加工、企事业单位、机场客轮等提供了一条厨余垃圾资源化的有效途径。

2.2 甲烷发酵技术

甲烷发酵是厨余垃圾在厌氧条件下通过微生物的代谢活动而被稳定化,同时伴有甲烷和二氧化碳混合气体(沼气)的产生^[11-13]。沼气可作为汽车燃料,也可以用来供热和发电,有较高的经济利用价值^[14-15]。

厨余垃圾甲烷发酵与燃料电池发电组合系统的开发,最近尤为引人注目。日本神户(Kobe)等地已建成每天处理6 t厨余垃圾发电3 000 kW的示范工程。将饭店、餐厅收集来的厨余垃圾经厌氧发酵得到甲烷,再经催化反应从甲烷中提取氢气,并供给燃料电池发电,所得到的电可供电动汽车充电使用。剩余的甲烷气体可以用来供热或供蒸汽涡轮机发电,也可以制成压缩天然气(CNG)作汽车燃料使用。

哈尔滨工业大学固体废物资源化学科部研究人员正与日本有关专家合作进行厨余垃圾的甲烷发酵与燃料电池发电系统的研究,这项技术必将为废物变清洁能源开辟新的途径。

2.3 生产饲料技术

利用厨余垃圾作为原料进行酵母固态发酵,可以提高其蛋白质、氨基酸和维生素的含量,以此来代替大豆、鱼粉等蛋白饲料。这种用厨余垃圾生产菌体蛋白饲料的方法,投资少,能耗低,见效快,操作简便。陈建乐等将厨余垃圾等经粉碎机粉碎、脱水、加氮中和、灭菌后,混合接种酵母和微生物菌种,然后经计算机控制分批进行固体发酵,再经干燥、磨粉、化验及包装制成高钙多维酵母蛋白饲料(中国发明专利公开号 CN 1416718A)。该法具有原料来源广阔、产品质量好、生产效率高、降耗节能、成本低廉等优点。

韩国是通过微生物集中处理制取饲料,日本主要通过高温对厨余垃圾进行消毒,处理后的垃圾直接就可作饲料,某些热带国家则充分利用太阳能来对垃圾进行消毒和蒸干水分^[16]。孙向军等^[17]通过比较高温消毒和生物处理饲料的经济性和技术性,建议高温消毒是首选方案。中国一直有利用厨余垃圾作饲料喂养牲畜的传统,经消毒处理的厨房垃圾是一种成本低廉的资源化方法。

另外,厨余垃圾和食用废油是较难处理的 2 种垃圾,采用食用废油,在真空条件下,也就是在氧气成分大大减小的环境里进行油炸厨余垃圾,不失为一种两全其美的方法。它使被炸物的氧化大大减少,保证了垃圾的营养成分。同时也是对垃圾进行了一次真空消毒处理,从而提供了第二次使用的可能性。垃圾中的水分在真空油炸过程中迅速被去除。油炸后的产品完全可作为一种理想的绿色饲料,也易于储存和运输。

2.4 蚯蚓处理技术

蚯蚓能分泌多种酶来分解有机物,转化为自身或其他生物可以利用的营养物质而繁殖。蚯蚓的这种能够分解转化大量有机废物,快速富集养分和生长繁殖的特性在一个多世纪前就有过报道,并在一些发达国家有了应用。厨房垃圾作为一种有机物含量高的废物,尤其适合使用这种技术^[18]。

20 世纪 80 年代中期,清华大学环境工程研究所开展养殖蚯蚓处理城市生活垃圾的可行性研究,1989 年通过成果鉴定,肯定了养殖蚯蚓处理生活垃圾的可行性与优越性。2000 年在北京市海淀区环

卫局的支持下,海淀环卫科研所和中国科学院老科协共同合作,在海淀区三星庄垃圾场建立了 1 座中试试验示范场地。并以蚯蚓粪为基质,筹建了 1 座生物有机肥厂,现已投入了生产运营。

日本的比嘉昭夫发明了 EM 原露,经稀释后喷洒在厨余垃圾的表层,用塑料布盖严使之发酵腐熟,杀死细菌,清除恶臭,将厨余垃圾变为无毒无臭的蚯蚓饲料,具有投资少,简单易行的特点。蚯蚓加工后可以制成蚯蚓粉用于养殖业,其粪使用作蔬菜瓜果等作物的优质肥料。

2.5 提取生物降解性塑料技术

最近的研究表明,可通过发酵厨余垃圾生产乳酸,进而合成聚乳酸这种可降解性塑料,为厨房垃圾的资源化和降低乳酸的生产成本开辟了一条新的途径^[19-20]。

日本九州工业大学(Kyushu Institute of Technology)的 Shirai 等^[21-22]提出了一种将厨余垃圾减量与资源化的新思路。家庭所产生的垃圾首先经安装在厨房水池下面的粉碎机粉碎,再传送到住宅下面的排水系统,在那里进行垃圾的固液分离。分离出的液相物质与污水一道被排放到污水处理厂进行处理。固态物质在储存过程中,其中存在的乳酸菌会自然发酵(初次发酵),腐败菌被抑制,有利于防止垃圾的腐败。当固态物质积累到一定数量后,运送到乳酸生产厂进行乳酸发酵(二次发酵),发酵后通过乳酸分离、纯化、聚合,可以得到生物降解性塑料(聚乳酸),发酵残渣可作为饲料和肥料,从而达到厨余垃圾“零排放”的目的。目前,汪群慧课题组在厨房垃圾乳酸发酵优良复合菌种的筛选、发酵液中乳酸的提取与精制、乳酸聚合成聚乳酸的工艺优化以及发酵后残渣的饲料化与肥料化等方面进行着深入研究^[23-24]。

2.6 生物发酵制氢技术

由于矿物资源的日益枯竭,寻找清洁的替代能源已成为一项迫切的课题。氢被普遍认为是一种最有吸引力的替代能源。因为氢气不仅热值高,而且是一种十分清洁的能源(燃烧后只产生水)。传统的化学产氢方法采用电解水或热解石油、天然气,这些方法需要消耗大量的电力或矿物资源,生产成本也普遍较高。生物制氢反应条件温和,能耗低,因而受到大家的关注^[25]。它主要有 2 种方法,即利用光合细菌产氢和发酵产氢,与之相对应的有 2 类微生物菌群,即光合细菌和发酵细菌。

Fascetti 等^[26]以水果和蔬菜垃圾作为原料,利用

光合细菌进行产氢研究,通过连续实验发现,这些垃圾的发酵液是一种有利于光合细菌生长的底物,并且微量元素铁和钼的存在有利于氢气的产生。

Lay 等^[27]通过从活性污泥中获得微生物,利用不同化学组成的厨余垃圾,分别是糖类(米饭和土豆)、脂类(肥肉和鸡皮)、蛋白质类(鸡蛋和瘦肉)在反应器中进行发酵产氢,结果表明糖类垃圾的产氢能力大概是其他 2 类垃圾的 20 倍。

Noike 等^[28]考察了乳酸细菌在产氢过程中的抑制作用,提出在发酵前对底物进行预热处理可以有效降低这种影响。

生物制氢所用的原料是城市污水、生活垃圾、动物粪便等有机废物,在获得氢气的同时净化了水质,达到保护环境的作用。因此无论从环境保护,还是从新能源开发的角度来看,生物质制氢都具有很大的发展前途。

3 研究展望

家庭垃圾堆肥处理机和小容量垃圾系列处理机是一种从源头减量的资源化方法,它将实现易腐败发臭的厨余垃圾的单独收集,减少蚊、蝇对环境和人体健康的影响;可使垃圾体积大大减少,从而减少垃圾收集的频率,大大降低收集和运输的成本;可获得较为优质的土壤改良剂和有机肥料,它还有利于纸张、塑料等其他生活垃圾不受污染,便于清理、分类及其资源化利用。

厨余垃圾生物制氢以及甲烷发酵与燃料电池发电系统的开发,必将为废物变清洁能源开辟新的途径。经过消毒的厨房垃圾作为养牲畜的饲料,是传统垃圾利用途径的有效改善。利用厨余垃圾发酵生产乳酸,进而合成聚乳酸类完全可生物降解性塑料,不但可以解决厨余垃圾的资源化问题,还有利于生物降解塑料早日取代通用塑料,有望解决困扰人类的“白色污染难题”,因此具有广阔的开发前景。

参考文献

- [1] 吴玉萍,董锁成.[J].城市环境与城市生态,2001,14(1):33-36.
- [2] 赵由才.生活垃圾资源化原理和技术[M].北京:化学工业出版社,2002.358-368.
- [3] Kelley T R, Walker P M.[J]. Bioresource Technology, 1999, 68(3): 247-253.
- [4] Fehr M, Calçado M D R, Romão D C.[J]. Environmental Science & Policy, 2002, 5(3):247-253.
- [5] 席北斗,刘鸿亮,孟伟.[J].安全与环境学报,2003,3(3):41-45.
- [6] 陈世和,张所明.城市垃圾堆肥原理与工艺[M].上海:复旦大学出版社,1990.
- [7] Schaub S M, Leonard J J.[J]. Trends in the Food Science and Technology, 1996, 7(8):263-268.
- [8] Park Jong Ik, Yun Yeoung-Sang, Park Jong Moon.[J]. Bioresource Technology, 2002, 84(1):101-104.
- [9] 席北斗,刘鸿亮,孟伟.[J].环境科学,2001,22(5):122-125.
- [10] 薛祖源.[J].现代化工,2003,23(5):57-59.
- [11] Thassitou P K, Arvanitoyannis I S.[J]. Trends in Food Science and Technology, 2001, 12(5-6):185-196.
- [12] 陈庆今.[J].中国沼气,2001,19(4):11-14.
- [13] Ghanem I I I, Gu Guowei, Zhu Jinfu.[J]. Renewable Energy, 2001, 23(3-4):673-684.
- [14] 李俊峰,钱小青,赵由才.[J].上海环境科学,2003,22(9):646-648.
- [15] Cho Jae Kyoung, Park Soon Chul, Chang Ho Nam.[J]. Bioresource Technology, 1995, 52(3):245-253.
- [16] Nijmeha M N, Ragaba A S, Emeisha M S.[J]. Applied Thermal Engineering, 1998, 18(12):1337-1346.
- [17] 孙向军,冯蒂,吴冰思.[J].环境卫生工程,2002,10(3):130-132.
- [18] 霍维周,丁雪梅.[J].城市管理与科技,2002,4(1):16-18.
- [19] YU P H F, Chua H, Huang A L, et al.[J]. Water Science and Technology, 1999, 40(1):365-370.
- [20] 王旭明,汪群慧,马鸿志,等.[J].现代化工,2003,23(11):50-53.
- [21] Shirai Keiko, Guerrero Isabel, Huerta Sergio.[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2001, 28(4-5):446-452.
- [22] Cira Luis A, Huerta Sergio, Hall George M, et al.[J]. Process Biochemistry, 2002, 37(12):1359-1366.
- [23] Wang Q H, Yambe K, Narita J, et al.[J]. Process Biochemistry, 2001, 37(4):351-357.
- [24] 孙晓红,汪群慧,孟令辉,等.[J].现代化工,2003,23(5):48-51.
- [25] 朱核光,史家楔.[J].应用与环境生物学报,2002,8(1):98-104.
- [26] Fascetti F, D'Addario E, Todini O, et al.[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 1998, 23(9):753-760.
- [27] Lay Jiunn-Jyi, Fan Kuo-Shuh, Chang James-I, et al.[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2003, 28(12):1361-1367.
- [28] Noike T, Takabatake H, Mizuno O, et al.[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2002, 27(11-12):1367-1371. ■