



果蔬废弃物处理技术研究进展

杨 鹏¹, 乔汪砚², 赵 润¹, 杜连柱¹, 张克强¹

(¹农业部环境保护科研监测所, 天津 300191; ²西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要:论述了中国果蔬废弃物的特点和资源化利用的意义, 综述了国内外近5年来对果蔬废弃物处理方法的研究进展, 发现厌氧发酵技术处理果蔬废弃物对发酵设备有一定的要求, 与粪便混合发酵是处理果蔬废弃物的一个发展趋势; 相对于厌氧发酵, 好氧堆肥对设备和操作管理的要求有一定程度的降低, 与粪便进行混合堆肥明显改善了堆肥品质; 探讨了接种微生物自然堆沤和果蔬废弃物固体发酵生产饲料蛋白的初步研究结果。通过混合发酵还田试验对比了各项处理技术的优缺点, 对促进果蔬废弃物的资源化利用提供新的思路。

关键词:果蔬废弃物; 厌氧发酵; 好氧堆肥; 处理技术

中图分类号: X52

文献标志码: A

论文编号: 2011-0610

Research Progress on Treatment Technique for Fruit and Vegetable Wastes

Yang Peng¹, Qiao Wangyan², Zhao Run¹, Du Lianzhu¹, Zhang Keqiang¹

(¹Agro-environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China;

²College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, 712100, Shaanxi, China)

Abstract: The characteristics and the utilization situation of fruit and vegetable wastes were analyzed, and the treatment techniques of domestic and international fruit and vegetable wastes in the past five years were summarized. It is found that the anaerobic fermentation had a certain fermentation equipment requirements, and the fruit and vegetable wastes mixed with manure was a processing trend. Aerobic composting required less equipment and operation management than anaerobic fermentation, and composting the fruit and vegetable wastes with the manure improved manure quality significantly. Microbial inoculation natural retting and feeding-protein production by solid-fermentation from vegetable wastes were also discussed. Comparing the advantages and disadvantages of various processing techniques, the results of fixed fermentation and the field test would provide some new ideas for processing the fruit and vegetable wastes.

Key words: Fruit and Vegetable Wastes; Anaerobic Digestion; Aerobic Composting; Treatment Technique

0 引言

近年来由于产业结构调整, 水果和蔬菜集约化种植的迅速发展, 果蔬废弃物的大量产生和富集已经构成了对农田、水体、果蔬配送市场和其他人居环境的严重威胁, 成为一种不可忽视的污染源。据统计, 中国每年产生的果蔬废弃物高达1.0亿t^[1], 其中绝大部分没有进行资源化利用而被当作垃圾随意丢弃或者排放到环境中, 给空气、水体和人居环境都带来了风险。因此,

对果蔬废弃物的处理、加工和利用成为消除污染实现资源化利用的必然途径。

果蔬废弃物易发生腐烂, pH值较低, 含水率高, 总固体含量一般为8%~18%, 其中可挥发性固体大约占固体总含量87%左右。有机质部分包括75%的糖分和半纤维素、9%的纤维素以及5%的木质素, N、P、K等营养元素含量丰富, 基本无毒害性^[2]。果蔬废弃物主要产生在其种植田地和加工交易场所, 容易实现单独收集

基金项目:农业部2010年优势农产品重大技术推广项目“设施蔬菜产地安全控制技术集成与示范”(2010年财政专项); 农业部公益性行业(农业)科研专项“农产品生产环境保护工程集成技术与模式研究”(200903009); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“设施蔬菜残体无害化处理与资源化利用关键技术研究”(2011-szjj-yp)。

第一作者简介:杨鹏, 男, 1980年出生, 山西大同人, 助理研究员, 硕士, 主要从事农业废弃物处理和资源化利用研究工作。通信地址: 300191 天津市南开区复康路31号 农业部环境保护科研监测所, Tel: 022-23003849, E-mail: yp15926@163.com。

收稿日期:2011-08-01, **修回日期:**2011-10-24。

处理。美国马萨诸塞州的一项统计数据表明,如果将果蔬废弃物按照一般处理生活垃圾的方式进行处理,其成本较高且资源浪费情况严重。在马萨诸塞州连锁超市经营过程中产生的果蔬废弃物,如果采用一般生活垃圾的处理方式进行卫生填埋,成本高达90美元/t,如果超市与农场合作将果蔬废弃物采用堆肥方式进行处理,成本约有50美元/t,且与农场签订供货协议本身又可降低超市的经营成本^[3]。因此,对果蔬废弃物的处理应该按照其生理特性来建立合理科学的处理方式。目前,果蔬废弃物的处理方法主要以厌氧发酵和好氧堆肥为主,同时还存在着对其他处理技术的探索。

1 厌氧发酵技术

1.1 批量式消化系统

批量式消化系统是指将进料一次性加入到反应器中,依据实验条件添加或者不添加微生物菌剂,厌氧消化的各个步骤在反应器中依次进行。Converti等^[4]在中温和高温条件下,对果蔬废弃物进行了批量式厌氧消化研究,蔬菜混合废弃物的消化过程进行的很快,其第一动力学常数约为 $4.1 \times 10^{-3}/[\text{L} \cdot \text{g} \cdot \text{VS}/(\text{h} \cdot \text{S})]$ 。Jolanun等^[5]研究了分批补料反应器在果蔬废弃物堆肥上的应用,分批补料反应器的性能优于批量式反应器。分批补料反应器的性能通过与批量式反应器的比较研究来显现。在同样的通气速率下,分批补料反应器的最优进料速率为 $21.23 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,使得的废弃物堆肥达到了最大干物质消耗率和在最短时间的高腐熟度。36天之内在同样的实验条件下,分批补料反应器降解废弃物的速率是分批反应器的5倍。De Baere等^[6]调查发现,从目前的市场占有率来看,批量式消化系统的应用并不是很成功,但是批量式消化系统具有设计简单、控制方便、可处理污染程度高的废弃物、投资少等特点,使得它特别适合在发展中国家使用。序批式厌氧消化反应器(ASBR)处理果蔬废弃物技术因其在时间和顺序上的高灵活度、无需单独的澄清器以及在反应器内能够保留高浓度生长缓慢的厌氧细菌等特点而备受人们关注。

1.2 连续流单相消化系统

目前世界各国在城市固体废弃物和畜禽废弃物处理上,主要采用的是单相消化系统^[1],因其操作简单而且可以节约成本。科研工作者则多采用两相消化系统进行实验研究,因其可以控制反应的中间步骤而方便研究的进行。国外许多学者都利用不同的单相消化系统对果蔬废弃物进行了处理。Mata-Alvarez等^[7]利用常温下单相反应搅拌器处理大型菜市场的废弃物,实验设置了4个总水力停留时间(8、12、14、20天),在一个3 L的消化器中进行实验。结果显示甲烷的产量较

高(增加了 CH_4 大约 $0.478 \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{VS})$)。利用连续搅拌釜反应器(CSTR)处理果蔬废弃物时,pH会明显降低,产生的沼气中 CO_2 的含量会增加^[8]。利用连续搅拌釜反应器(CSTR)处理果蔬废弃物当有机负荷 $4[\text{kg} \cdot \text{T} \cdot \text{VS}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})]$ 时,pH值会明显降低,产生的沼气中 CO_2 的含量增加^[9]。

1.3 连续流两相消化系统

前人的试验研究证明,在处理高降解性固体废弃物时,两相厌氧消化系统优于单相厌氧消化系统。两相消化系统的优点主要包括对挥发性有机酸的积累和对pH值下降的缓冲,总水力停留时间和反应时间短,负荷高、气体产量以及甲烷产量高。Bouallagui等^[10]在常温下利用2个联合的厌氧程序化间歇反应器研究果蔬废弃物的厌氧消化,反应器是2个不同容积的玻璃装置,水解酸化步骤在一个1.5 L的玻璃反应器中进行,沼气发酵步骤在一个5 L双层玻璃反应器中进行。结果表明,果蔬废弃物在传统的两相反应器中可以高度生物降解,同时反应中总的COD的96%都可以转化成沼气和生物量。Sarada等^[11]分别采用单相和两相系统处理土豆加工废弃物,发现采用两相工艺时,在中温条件下,产气率比同样条件下的单相系统要高30%。采用高温液化(CSTR)反应器和中温厌氧滤池,超过95%的挥发性固体转化成甲烷,容积有机负荷率为 $5.65[\text{g} \cdot \text{VS}/(\text{L} \cdot \text{d})]$,甲烷产量为 $420[\text{L} \cdot \text{kg} \cdot \text{V}/\text{S}^{[12]}]$ 。这些研究者均发现两相消化系统有较高的处理效率,在净化率和能量循环方面都有明显优势。刘广民等^[1]采用两相厌氧消化工艺处理固体果蔬废弃物,反应液在系统内循环使用,系统由50 L的水解果蔬废弃物固体酸化罐和UASB厌氧反应器组成。在厌氧消化处理过程中,反应液中COD由开始时的10000 mg/L降至反应后2000 mg/L左右,COD去除率达80%以上。同时果蔬固体物质去除率达到98.6%,果蔬废弃物减量效果明显。刘广青等^[13]采用新型两相厌氧发酵系统,该系统由4个固体床反应器(第1阶段)串连1个厌氧序批式反应器构成(第2阶段),反应系统能够稳定运行。消化12天后,沼气和甲烷产量分别为530和351 mL/g,系统中总固体(TS)和悬浮固体(VS)去除率分别为78%和82%。该系统被证明能有效处理水稻秸秆和蔬菜废弃物,同时能够实现能源转化^[14-16]。试验结果表明,两相厌氧固体床反应系统污染负荷高、产气稳定、反应周期短,是处理固态有机废弃物的有效方法。

1.4 果蔬废弃物与粪便混合发酵

厌氧消化是一种应用较广泛的对有机废弃物处理的方式,对果蔬废弃物单独进行厌氧消化会产生过多的酸性物质,若是将果蔬废弃物与粪便混合发酵处理



可以一定程度上减少抑制类酸性物质的产生。牛粪与其他一系列农业废弃物的共消化已经被证实很成功。前人的批次研究证实此消化是建立在挥发性固体物质的减少,总甲烷的产生和产量提高。Callaghan等^[17]研究发现,与粪便混合的果蔬废弃物的百分率从20%提高到50%使得甲烷产气率从0.23 m³提高到0.45 m³,挥发性固体物质只出现微量的减少。当与牛粪混合的果蔬废弃物含量为30%或以上时,会产生高浓度的脂肪酸。尽管如此,与牛粪混合的果蔬废弃物比重超过50%时,会有较高的甲烷产量,但是挥发性固体物质的改变却很微小。鸡粪与果蔬废弃物混合效果并不理想,当与果蔬废弃物混合的鸡粪量增多时,挥发性固体物质的降解会退化,同时沼气产量会下降。Bouallagui等^[18]在常温下利用4个批次厌氧反应器(ASBR)研究果蔬废弃物厌氧消化反应添加鱼类废弃物、屠宰场的废水和活性污泥废弃物作为共同基底,检测能够强化共消化性能的基底。结果表明:添加屠宰场废水和活性污泥废弃物分别增强了51.5%和43.8%的沼气产量,消除了多于10%和11.7%的挥发性物质。添加鱼类废弃物与果蔬废弃物单独消化相比较,对沼气产气率的改变较微小。各项研究表明,将果蔬废弃物与粪便混合处理效果优于单纯将果蔬废弃物进行厌氧消化。与粪便混合厌氧消化将是果蔬废弃物处理的一个趋势。

1.5 利用自行设计的反应器进行厌氧发酵

在国内一些研究者以自行设计的厌氧发酵装置对果蔬废弃物进行消化处理。邱凌等^[19]利用自行设计的厌氧发酵实验装置,对黄瓜茎叶和番茄茎叶进行了单相批量厌氧发酵的试验研究。结果表明:随着厌氧发酵时间的延长黄瓜茎叶所产气体中的CH₄含量呈明显升高的趋势,H₂S含量接近线性变化,厌氧发酵2周后产气量最高,产气高峰期持续大约2~3周。在厌氧发酵过程中番茄茎叶产甲烷活性期出现较晚,H₂S含量比黄瓜茎叶高出10倍左右,产气高峰期比黄瓜茎叶推迟大约1周左右,持续时间较短,总产气量低于黄瓜茎叶。刘荣厚等^[20]以废弃的甘蓝菜叶为发酵原料,在实验室自行设计的小型沼气发酵装置上进行了厌氧发酵试验,厌氧发酵系统主要由水浴恒温震荡器、发酵瓶、集水瓶等部分组成。试验在20%、30%、50%3个接种物浓度水平下进行,接种物浓度为30%时挥发酸含量、氨态氮含量以及pH值都在正常范围内,总产气量和沼气中最高甲烷含量分别为7790.81 mL和42.814%,明显高于其他2个水平及空白组实验。该组通过测定发酵过程中发酵液以及沼气的各项指标,对蔬菜废弃物厌氧发酵的可行性及接种物浓度对发酵过程的影响进行了研究,研究发现,在以后的试验中,可以采用在蔬菜废弃物中添加一些含氮、磷高的有机物一起进行厌

氧发酵以达到更高的产气量、产甲烷量。

2 好氧堆肥

堆肥作为一种有效的有机废弃物资源化处理技术,成为国内外固体废弃物资源化的一大研究热点^[21-23]。好氧堆肥堆体温度高,一般为50~65℃,故亦称为高温堆肥。高温堆肥可以最大限度地杀灭病原菌,同时对有机质的降解速度快,是处理有机废弃物的有效方法。

2.1 果蔬废弃物直接堆肥

Kostov等^[24]将各种果蔬废弃物好氧堆肥,然后施用于在大棚种植的黄瓜,经过实验发现,在黄瓜的生长期施用果蔬废弃物堆肥产生的肥料,使得黄瓜的根部温度高于施用普通肥料,堆肥产生了更多的CO₂和微生物群,其释放的养料符合黄瓜生长各个阶段的需求。施用堆肥的黄瓜营养成分高于施用普通肥料的黄瓜营养成分。施用堆肥的黄瓜较其他早成熟10~12天,同时产量也要高于施用普通堆肥的产量(第1个月产量增加了6倍,总产量增加了48%~79%)。这体现了果蔬废弃物较高的经济效益。John等^[25]比较了4种低技术含量的超市废弃物堆肥方式(地下窖藏式、地下开放式、地上开放式、地上密闭式)。经过各项指标的验证发现,地上密闭式的堆肥腐熟进度优于其他3种方式。陈活虎等^[26]通过不同比例腐熟堆肥接种,进行蔬菜废弃物高温好氧降解试验,研究接种对蔬菜废弃物好氧降解过程的影响。结果表明,在试验采用的5%、3%和1%3个水平接种率下,增加腐熟堆肥接种比例有利于提高有机物的降解率,试验末期有机物降解率分别为53.3%、50.0%和43.7%,其降解率差距的主要来源是糖类和纤维素类降解差别;腐熟堆肥接种对堆肥过程中微生物演化的规律影响明显,但当接种率达到一定水平后,接种对生物的影响会随堆肥过程的进行而逐步消失。张相锋等^[27-28]以滇池流域典型农业废弃物蔬菜(西芹)和花卉废弃物(石竹)为原料,进行了2种配比的蔬菜废弃物和花卉废弃物联合堆肥的中试研究和序批式联合堆肥研究,采用序批式进料、温度反馈通气量控制的静态好氧堆肥处理技术进行蔬菜和花卉废弃物联合堆肥试验,可有效控制堆肥过程,实现有机物料的快速稳定和水分去除,为滇池流域蔬菜废弃物量远大于花卉废弃物量时堆肥难以有效进行的技术难题提供了解决渠道。采用温度反馈通气量控制的静态好氧堆肥技术,蔬菜废弃物和花卉废弃物联合堆肥可以在45天内获得高质量的堆肥产品,将堆肥产物还田能有效减少固体废物非点源污染、提高土壤肥力。

2.2 果蔬废弃物与粪便混合堆肥

Alkoik等^[29]利用一个实验室规格的生物反应器来进行番茄废弃物与牛粪混合堆肥的试验研究。添加尿素使得废弃物的C/N达到30,同时将湿度调整到

60%。这个实验的结果表明,在番茄废弃物和木屑堆肥过程中添加牛粪能够为堆肥所需微生物提供其所需的大量元素和微量元素。添加粪便提高了温度提升的速率和最高温度的持续期,减少了停滞和顶峰时间,这些结果总结起来就是其减少了堆肥过程中的停滞时间,加速了堆肥进程。牛俊玲等^[30]采用人工翻堆的方法进行板栗苞和牛粪堆肥,初始混合物料C/N为25~30,含水量在55%~60%,采用人工翻堆的方法进行通风。由于板栗苞与牛粪均为木质纤维素含量较高的物料,所以在堆制结束后,堆肥中的粗纤维含量仍有10.11%,整个过程中粗纤维降解率为57.25%。水溶性硝态氮的含量在堆肥过程中总体呈上升趋势,而铵态氮损失就比较严重,比初始物料减少了33.30%。在堆肥结束时,C/N基本维持在20左右。在堆制20天后,发芽指数(*GI*)上升到了80%以上。说明板栗苞和牛粪堆肥40天后基本可以达到腐熟,但堆肥中仍残存部分未被消化的板栗苞,需进一步采取相应措施促进板栗苞中木质纤维素的降解。官会林等^[31]以蔬菜根茎及花卉秸秆废弃物、鲜猪粪、有机物腐熟剂为原料,按不同比例混合堆肥处理进行还田试验。自然发酵35天后进行还田试验。还田后对西芹产量和品质的提高产生了影响,同时容易造成当季作物减产。经研究发现,添加有机物腐熟剂能促进固体废弃物的快速降解和还田利用率的提高。张相锋等^[32]以滇池流域的典型农业废弃蔬菜、花卉废弃物和鸡舍废粪为原料,进行了不同配比的联合堆肥中试研究。研究进行了2种方式的发酵,一种是采用温度反馈通气量控制的静态好氧堆肥,一种是采用周期性翻堆的自然腐熟。静态堆肥阶段堆体温度在55℃以上保持至少3天,堆肥阶段最高温度可以达到73.3℃,从而可以有效杀灭致病菌;堆体的含水率从75%下降到56%,有机质含量从65%下降到50%,pH值稳定在8。分析自然堆腐发酵的腐熟度和养分结果表明,产物的稳定性好,养分含量高。实验发现联合堆肥可以获得高质量的堆肥产品,废弃物还田可以减少固体废弃物的污染,提高土壤肥力。徐智等^[33]以西番莲废果渣为基本原料、添加一定比例牛粪(果渣:牛粪9:1、果渣:牛粪8:2和果渣:牛粪7:3)进行堆肥试验,研究表明如果采用纯果渣进入高温分解阶段时间为10天,高温持续时间为4天, NO_3^- -N含量为358.5 mg/kg;如果添加牛粪达到高温分解的时间缩短到6~9天,高温持续时间增加到2~7天, NO_3^- -N的含量会增加到513.3~639.1 mg/kg。此外,添加牛粪显著增加了堆肥中的氮、磷和钾的养分含量,降低了堆肥的容重,堆肥的总孔隙度和持水孔隙度有明显提高,改善了堆肥产品的品质。

3 对果蔬废弃物的其他处理方式

3.1 自然堆沤

根据操作规程直接将农田果蔬废弃物堆放在堆沤池中,加入一定的生物菌剂,加速废弃物的分解液化,可将废弃物产生的液体当作肥料直接施用于农田。该方式不需要大量的设备投资和建设成本,具体操作和运行管理都简单易行,适用于农村推广。

3.2 固体发酵生产饲料蛋白

张继等^[34]通过混合菌种实验,利用高山娃娃菜废弃物发酵生产蛋白饲料,结果表明:采用绿色木霉+白地霉+产朊假丝酵母为发酵菌种,加入1%的尿素、1.5%的硫酸铵、0.2%硫酸镁、0.4%的磷酸氢二钾和0.4%的过磷酸钙,采用不灭菌固体发酵工艺,按照比例为1:2:2接种10%,在1 L的三角瓶中投入85 g蔬菜废弃物和15g麸皮,在27℃下发酵96 h。结果表明产物蛋白质含量为15.97%,较之前提高了75%,营养成分达到了一种平衡状态,使其适宜作为饲料。利用固体废弃物发酵生产饲料蛋白为处理固体废弃物提供了新的处理思路 and 方向,具有长远的开发利用价值。

4 结语

各种果蔬废弃物的处理技术各有特点。厌氧发酵工艺能够产生沼气,但是厌氧发酵工艺的成功实施依赖于高效反应器的开发利用,受设施规模的限制,同时存在最终的废水废渣处理问题。好氧堆肥则是将果蔬废弃物进行好氧堆沤来制取有机肥,需降低含水率,添加各种蓬松物质以增加孔隙率,同时需要人工进行翻堆。厌氧发酵和好氧堆肥都需要一定的设施建设成本,对于具体的操作和管理都有相对应的技术要求,但中国目前还没有针对果蔬废弃物处理的专门技术规范和要求,而且对于此类环境效益和社会效益大于经济效益的工程设施来说,要实现大规模的推广应用还需要政府的扶持和资助。在选择处理果蔬废弃物的方式时,要根据当地的实际情况和需求来选择适合的处理技术,综合考虑各方面因素才能够有效的实现消除污染和节约资源的目的。国外研究表明厌氧发酵和好氧堆肥工艺都能对果蔬废弃物的资源化利用产生一定的处理效果,与粪便进行混合发酵是果蔬废弃物处理技术发展的一个趋势。果蔬废弃物接种微生物液化发酵直接进行还田利用是一项低成本、高效率的处理方式,为果蔬废弃物的处理提供了新的思路。

笔者正在开展将牛粪与设施大棚中的西红柿、黄瓜等蔬菜残体以质量比1:3相混合进行厌氧发酵和好氧堆沤2种试验。厌氧处理后将沼肥用于蔬菜追肥,好氧处理后将渗滤液用于蔬菜追肥,并进行了定期监测,均取得了令人满意的效果,试验结果发现,供试小区内



并无减产,而且植株和果实的抗病性表现更强,植株叶片厚实,挂果率高,除底肥是试验初期与其他常规施肥小区统一施肥外,整个生育期内再没有使用化肥和农药,抑制了绝大多数土传病的延续,果实色泽鲜亮,口感好,土壤的理化性质也有明显改善。该研究将有助于为果蔬废弃物的资源化利用探索新的技术途径。

在国际国内低碳减排的生态发展需求下,寻求低投入、低能耗、无害化、高收益、高效能的果蔬废弃物资源化利用技术,是实现低碳经济和废弃物资源化循环利用的发展方向。果蔬废弃物的有效资源化循环利用既消除了农业污染,又保护了环境,实现了变废为宝。笔者对该领域内的主要技术进行了整理、归纳和分析,期望可为该领域的相关研究提供参考。

参考文献

- [1] 刘广民,董永亮,薛建良,等.果蔬废弃物厌氧消化特征及固体减量研究[J].环境科学与研究,2009(3):27-30.
- [2] Bouallagui H, Touhami Y, Cheikh R B, et al. Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes[J]. Process Biochemistry,2005,40:989-995.
- [3] Anon. Composting commercial food waste[J]. BioCycle,1990,31(2):50-51.
- [4] Converti A, DelBorghi A, Zilli M, et al. Anaerobic digestion of the vegetable fraction of municipal refuses: mesophilic versus thermophilic conditions[J]. Bioprocess Eng,1999,21:371-376.
- [5] Jolanun B, Tripetchkul S, Chiemchaisri C, et al. The Application of a Fed Batch Reactor for Composting of Vegetable and Fruit Wastes [J]. Sc. Tech,2005,10:60-69.
- [6] De Baere L. Anaerobic digestion of solid waste : state-of-the-art[J]. Water Sci Technol,2000,41:283-290.
- [7] Mata-Alvarez J, Cecchi F, Labrés P, et al. Anaerobic digestion of the Barcelona central food market organic wastes: experimental study[J]. Bioresour Technol,1992,39:39-48.
- [8] Lane A G. Methane from anaerobic digestion of fruit and vegetable processing waste[J]. Food Technol,1979,31:201-207.
- [9] Mata-Alvarez J, Cecchi F, Labrés P, et al. Anaerobic digestion of the Barcelona central food market organic wastes: plant design and feasibility study[J]. Bioresour Technol,1992,42:33-42.
- [10] Bouallagui H, Torrijos M, Godon J J, et al. Two-phases anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: bioreactors performance[J]. Biochemical Engineering,2004,21:193-197.
- [11] Sarad R, Joseph R. A comparative study of single and two Stage processes for methane production from tomato processing waste[J]. Process Biochemistry,1995,31:337-340.
- [12] Rajeshwari K V, Panth D C, Lata K, et al. Novel process using enhanced acidification and a UASB reactor for biomethanation of vegetable market waste[J]. Waste Manage Res,2001,1:292-300.
- [13] 刘广青,张瑞红,Hamed M,等.批式与两相高温厌氧消化厨余和杂草废弃物对比研究[J].中国农业大学学报,2006,11(6):111-115.
- [14] Zhang R, Zhang Z. Anaerobic digestion of vegetable waste with an anaerobic phased solids digester system[J]. Transaction of CSAE, 2002,18(5):134-139.
- [15] Zhang Z, Zhang R. Evaluation of different anaerobic digestion systems for biogasification of rice straw[C]. ASAE Annual International Meeting, Orlando: FL,1998,98:41-42.
- [16] Zhang R, Zhang Z. Biogasification of rice straw with an anaerobic-phased solids digester system[J]. Bioresource Technology,1999,68:235-245.
- [17] Callaghan F J, Wase D A J, Thayanithy K, et al. Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure[J]. Biomass and Bioenergy,2002,27:71-77.
- [18] Bouallagui H, Lahdheb H, Ben Romdan E, et al. Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition[J]. Journal of Environmental Management,2009,90:1844-1849.
- [19] 邱凌,卢旭珍,王兰英,等.日光温室生产废弃物厌氧发酵特性初探[J].中国沼气,2005,23(2):30-32.
- [20] 刘荣厚,王远远,孙辰,等.蔬菜废弃物厌氧发酵制取沼气的试验研究[J].农业工程学报,2008(4):209-213.
- [21] 黄鼎曦,陆文静,王洪涛.农业蔬菜废物处理方法研究进展和探讨[J].环境污染治理技术与设备,2002,3(11):38-42.
- [22] 吴昊,张赣道.生活垃圾生物处理的研究与展望[J].江苏环境科技,2004,17(2):38-40.
- [23] 孙向阳,宋树林.国内外城市生活垃圾处理概况[J].海岸工程,1999,18(4):92-95.
- [24] Kostov O, Tzvetkov Y, Kaloianova N, et al. Cucumber cultivation on some wastes during their aerobic composting[J]. Bioresource Technology,1995,53:237-242.
- [25] John B T, John S T, Erasmus O, et al. Comparison of four low-technology composting methods for market crop wastes[J]. Waste Management,2009,29:2274-2281.
- [26] 陈活虎,晶晶,吕凡,等.熟堆肥接种对蔬菜废物中高温好氧降解过程的影响[J].环境化学,2006(4):444-448.
- [27] 张相锋,王洪涛,聂永丰,等.高水分蔬菜 and 花卉废物序批式进料联合堆肥的中试[J].环境科学,2003,24(6):148-151.
- [28] 张相锋,王洪涛,聂永丰.高水分蔬菜废物和花卉废物批式进料联合堆肥的中试[J].环境科学,2003,24(5):146-150.
- [29] Alkokaik F, Ghaly A E. Influence of dairy manure addition on the biological and thermal kinetics of composting of greenhouse tomato plant residues[J]. Waste Management,2006,26:902-913.
- [30] 牛俊玲,梁丽珍,兰彦平.板栗和牛粪混合堆肥的物质变化特性研究[J].农业环境科学学报,2009,28(4):824-827.
- [31] 官会林,张云峰,张无敌,等.滇池农田废弃物生物处理及资源化利用研究[J].农业环境科学学报,2006,25(增刊):625-628.
- [32] 张相锋,王洪涛,聂永丰,等.高水分蔬菜废物和花卉/鸡舍废物联合堆肥的中试研究[J].环境科学,2003,24(3):147-150.
- [33] 徐智,汤利,毛昆明,等.牛粪对西番莲果渣高温堆肥腐熟进程的影响[J].农业环境科学学报,2006,25(2):507-511.
- [34] 张继,武光朋,高义霞,等.蔬菜废弃物固体发酵生产饲料蛋白[J].西北师范大学学报,2007,43(4):85-89.