

城市蔬菜废弃物处理及其资源化利用模式探讨

李晓蓉¹, 欧巧明², 赵 瑛², 欧巧琴³, 许文艳¹, 丁文姣¹

(1. 甘肃省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省靖远县平堡乡人民政府, 甘肃 靖远 730616)

摘要: 基于对蔬菜废弃物资源数量、特性、处理利用技术等分析, 提出了适合城市蔬菜废弃物处理利用的厌氧消化制产沼气和蛋白饲料化集成分级处理模式。

关键词: 蔬菜废弃物; 堆肥; 厌氧消化; 菌体蛋白饲料; 资源化利用; 模式

中图分类号: S141.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2015)01-0052-05

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2015.01.020](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2015.01.020)

由于我国蔬菜种植面积不断增加, 加之种植技术、深加工以及净菜上市等的快速发展, 促使蔬菜废弃物的产量和比重也在急速增加^[1]。由于管理疏漏和缺乏有效利用技术, 致使多数蔬菜废弃物没有被作为资源利用。加之蔬菜废弃物季节性强、存期短、易腐烂, 极易造成资源浪费和环境污染。因此, 在能源资源日益短缺、废弃物数量剧增造成生态环境问题愈加突出的今天, 有机废弃物, 特别是城市蔬菜废弃物的无害化处理和资源化利用显得十分重要且必要。国内外关于蔬菜类有机废弃物处理与再利用研究已有不少报道^[1-17], 而国内专门针对城市蔬菜废弃物的高效处理与资源化利用研究鲜有报道。我们基于对蔬菜废弃物资源数量、特性、处理利用技术, 特别是城市蔬菜类有机废

弃物处理技术的分析, 提出适合城市蔬菜废弃物处理利用的厌氧消化—饲料化集成分级处理模式, 以期为相关研究提供参考。

1 目前国内蔬菜类有机废弃物现状

近年来, 我国蔬菜种植面积和比重逐年增加。据联合国粮农组织(FAO)统计, 2007 年我国蔬菜收获面积及产量均居世界第 1 位, 分别占世界的 43%、49%, 总产量 5.65 亿 t^[18]。随之而来的是我国也成为世界农业废弃物产出量最大的国家, 并随着种植技术、产业化程度及深加工等的快速发展, 其产量和比重仍在急速增加。据统计, 仅 2002 年我国有机垃圾的排放总量达 41.3 亿~43.4 亿 t, 其中蔬菜废弃物就达 1.0 亿 t, 这还不包括粪便、秸秆、生活垃圾、农产品加工废弃物等^[1,19-21]。按蔬

收稿日期: 2014-08-25; 修订日期: 2014-11-18

基金项目: 甘肃省农业厅农业生物技术与应用开发项目(GNSW-2011-07; GNSW-2012-14); 甘肃省农业科学院农业科技创新专项青年基金(2011GAAS06-11)

作者简介: 李晓蓉(1963—), 女, 甘肃景泰人, 高级实验师, 主要从事农产品质量安全检测研究。联系电话: (0)13893244984。E-mail: lxr870906@sina.com

- [4] 贡布扎西, 旺 姆, 张崇玺, 等. 南美藜在西藏的生物学特性研究[J]. 西北农业学报, 1994, 3(4): 81-86.
- [5] 贡布扎西, 旺 姆, 张崇玺, 等. 南美藜在西藏的生物学特性表现[J]. 西南农业学报, 1994, 7(3): 54-62.
- [6] 贡布扎西, 旺 姆, 王 莉. 南美藜育种原始材料研究[J]. 西藏科技, 1996, 3(73): 13-17.
- [7] 旺 姆, 贡布扎西, 刘云龙, 等. 西藏南美藜(*Chenopodium quinoa* Willd)病害初步研究[J]. 云南农业大学学报, 1995, 10(2): 88-91.
- [8] 张崇玺, 贡布扎西, 旺 姆. 南美藜(*Quinoa*)苗期低温冻害试验研究[J]. 西藏农业科技, 1994, 16(4): 49-54.
- [9] 高爱丽, 陈毓荃. 南美藜种皮凝集素的初步研究[J]. 西北植物学报, 1996, 16(6): 113-115.
- [10] 张崇玺, 张小武. 不同低温强度与次数对南美藜墨引 1 号苗期霜冻级别的影响[J]. PRATACULTURAL SCIENCE, 1997, 14(1): 10-11.
- [11] 周海涛, 刘 浩, 么 杨, 等. 藜麦在张家口地区试种的表现与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 222-227.
- [12] 肖正春, 张广伦. 藜麦及其资源开发利用[J]. 中国野生植物资源, 2014, 33(2): 62-66.

(本文责编: 郑立龙)

菜总量、净菜、废弃量的比例为 1 : 0.7 : 0.3 计算^[1,17], 2007 年我国蔬菜总产量 5.65 亿 t, 蔬菜废弃物高达 1.883 亿 t, 数量非常巨大。

另外, 现代城市商品蔬菜要求净菜上市, 使蔬菜上市前的加工处理更加苛刻, 大量质量不佳的蔬菜和净菜加工处理残余物最终成为有机废弃物, 存期短、易腐烂, 很容易造成城乡环境污染和资源浪费^[22]。一方面是蔬菜类有机废弃物产量日益增加, 另一方面是没有得到有效处理, 使得部分蔬菜集中产销区环境污染问题严重。以甘肃省为例, 2008 年蔬菜年种植面积达 36.67 万 hm², 总产量已超过 1 000 万 t, 其中兰州已超过 118.0 万 t^[18]。若平均按蔬菜总量与蔬菜废弃物为 1 : 0.3 之比例计算, 甘肃省每年可产生蔬菜废弃物 300.0 万 t, 兰州市约 35.4 万 t。另据报道, 1 t 蔬菜类有机废弃物全发酵所产沼气约 177.8 m³, 可提供约 237 kW·h 电能^[20]。据此, 仅按 2008 年兰州市蔬菜类有机废弃物 30 万 t 计算, 可产生的沼气约为 5 334 万 m³, 可产生 7 110 万 kW·h 电能, 相当于普通标煤 12 万 t(1 t 蔬菜类废弃物与 0.4 t 标准煤能源价值相当^[20])。鉴于目前有机垃圾产量以每年 8%~10% 的速度递增的现状^[21], 城市有机废弃物, 尤其是蔬菜废弃物的处理和资源化利用势在必行。

根据在兰州市张苏滩蔬菜批发市场的调查计算, 2008 年 4 月数据显示, 各种菜品日成交量约 80 万~150 万 kg^[2,23]。如按蔬菜日成交总量 80 万 kg 计算, 理论上日产蔬菜废弃物近 24 万 kg, 使周边环境脏乱不堪, 资源浪费与环境污染十分严重, 尚未有效处理利用方式, 是目前兰州蔬菜产销区亟待解决的重要问题, 采用合适的工艺将这些蔬菜类有机废弃物妥善处理势在必行。

2 蔬菜废弃物的特性及其可利用优势

蔬菜废弃物与其他固体有机废物相比, 具含水率高、营养丰富、除部分发生病虫害组织外基本无毒害等特性^[2]。其营养丰富, 固体含量为 8%~19%, 含水量 71.8%~85.0%。含干物质 15.0%~28.2%, 其中蛋白质 1.7%~4.4%、油脂 0.4%~1.6%、无氮提取物 11.4%~15.5%、糖类和半纤维素 75%、纤维素 9%、木质素 5%、灰分 1.8%~2.4%, 还有钙 2.5 g/kg、磷 1.5 g/kg、可消化蛋白 15~22 g/kg^[2-3,19]。

另外, 废弃物处理及其资源化利用的前提是

其分类、收集。蔬菜废弃物虽然较其它农业废弃物的资源化利用潜力相对较低^[20], 但其主要集中在蔬菜种植田和蔬菜加工交易场所, 不易和其他垃圾等混合, 具备单独分类、收集和处理的优势和条件。若将其简单按普通垃圾处置是资源浪费。

3 蔬菜废弃物的处理及利用

蔬菜类有机废弃物进行分类收集后, 最直接的问题就是这些有机垃圾的处理与资源化利用。目前, 国外关于蔬菜类废弃物处理及利用已有相关报道^[4-8,10-13], 国内专门针对蔬菜类废弃物处理利用研究有部分报道^[1-3,9,14-17], 且停留在实验室探索阶段。蔬菜类有机废弃物具体处理技术主要有好氧堆肥、厌氧-好氧联合发酵堆肥、厌氧消化产沼气、发酵菌体蛋白饲料和有效成分提取利用等, 其中好氧/厌氧堆肥处理、厌氧消化制气处理技术相对成熟。

3.1 堆肥化处理

传统堆肥采用露天式堆肥法, 占地费时, 发酵不彻底, 产品品质差。也有的将蔬菜类有机废弃物经厌氧堆肥制成液体肥料, 经去除生物毒性和病虫害等安全处理之后应用, 这在农村农户型双室堆沤池系统上有应用前景^[2], 其缺点是堆温过低。另外, 据报道, 传统小型自然分散堆肥处理法, 分散处理蔬菜废弃物直接还田回用是一种低成本、高效率的方法^[24], 但该法堆制速度缓慢(一般 3~6 个月以上), 故在城市推广较为困难。现代堆肥生产一般采用好氧/厌氧堆肥工艺。

蔬菜废弃物的好氧堆肥, 由于其高含水率和植物组织中原有的微生物群落特点, 需要以下的条件。(1) 必须将蔬菜废弃物和各种膨松物质混合, 以增加孔隙率, 降低含水率并防止堆肥物料过度塌陷。在堆肥物料中可添加 40% 的干草作为调节剂^[5-6], Vallini 等也认为添加 15% 的木屑和 5% 的堆肥产品则可以达到较理想的效果^[7,25]; Huang 等认为蔬菜废弃物预先干燥至 80% 含水率, 再添加以水稻秸秆等为膨化填充物料对好氧堆肥较为适宜^[8]。(2) 应该通过连续通气和翻堆防止局部厌氧状态的发生。(3) 应在初始物料中混入已经腐熟的堆肥产品作为微生物接种剂, 加速高温阶段的启动^[13]。另有报道有机废弃物蚯蚓堆肥处理也有很好的处理效果^[26-27]。

可见, 对蔬菜废弃物好氧堆肥处理所需设备相对简单, 经高温阶段可去除病虫害, 是一种有

效处理的方法,产品也是比较理想的有机肥料。不足之处是纯蔬菜废物含水率过高,必须添加膨松填充物调节含水率,造成成本升高,处理效率降低。另外目前还存在很多有待进一步探索的问题,如好氧堆肥菌种鉴定、堆肥腐熟度、机理及工艺等,这也是当前蔬菜废弃物好氧堆肥及其开发应用的首要课题。

蔬菜废弃物厌氧-好氧集成处理有机固体废物技术结合了好氧和厌氧方法的优点,最早由 Cecchi 等提出,并认为单纯厌氧处理产物直接用于土壤改良仍有一定生物毒性^[28]。但蔬菜废弃物经机械分选和厌氧消化后,产物随后和新鲜物料或其他堆肥产物混合进行好氧处理,采用强制通风技术控制堆体温度,使得堆体在 1 个月内达到稳定,可彻底消除产物的生物毒性^[29],并可解决单纯厌氧反应废渣和废水等导致的再污染问题,且可回收部分沼气作为能源,但需同时建立好氧和厌氧两套系统,在设备投资和运行成本方面都不具有优势。

堆肥化技术在针对蔬菜废物特性进行专门设计后都能得到一定的处理效果,但完全依靠堆肥也存在很大问题,特别是含水率过高、腐熟度低,有机质含量多低于 20%(标准含量 > 45%),且富含不分解杂质,致使堆肥品质较差。

3.2 厌氧消化生产沼气

厌氧消化制气最大优点是可回收沼气。蔬菜废弃物高含水率的特点正好符合一般厌氧处理的固体含量(10%左右),无需再预处理。因此,厌氧消化可能成为蔬菜废物的理想途径。

学者先后以水果、马铃薯、甜菜叶、番茄等蔬菜废弃物为原料对其单独/混合固体废物处理、单步/两步厌氧消化或共消化、批量共消化系统及其动力学等进行了深入研究^[10-14],并进行了制产沼气及其潜力,发酵中试装置等相关研究^[30],但这些研究成果大多只适合于大型连锁超市或食品加工企业的蔬菜废物集成化处理。

在国内,尽管在农村和高浓度有机污水及污泥处理中早已普遍采用厌氧发酵工艺和小型沼气池系统,但专门针对城市蔬菜类有机废弃物处理和反应器系统研究较少,主要集中在以菠菜、大蒜、甘蓝等蔬菜有机废弃物及秸秆、猪粪等废弃物、有机垃圾等为原料的厌氧发酵制产沼气的发酵工艺、产气潜力等方面的研究^[9,15-16,31-32]。

厌氧消化制产沼气处理技术具有明显的优越性,既可产生沼气作为能源加以有效利用,又可减少废气、异味排放,消化后的废水、废渣等残渣数量较少,对含水率较高的蔬菜、水果废弃物及餐厨有机垃圾等更为适宜。但其处理装置将会产生一些潜在危险和环境的负面影响,如沼气中的 H₂S 气体溶于水形成的氢硫酸会腐蚀管道和毁坏设备,致使易燃有毒气体泄漏、爆炸等。另外,沼池温度和产气过低是影响该技术在中国西北地区应用的最大障碍,目前多采用覆黑膜和外加热等解决方案,但效果尚不理想。

3.3 生物菌体蛋白的饲料化处理

据 FAO 统计,中国蛋白质饲料的缺口每年至少达 1 200 万 t^[1,33],饲料蛋白严重缺乏已引起高度重视。蔬菜类废弃物经微生物发酵产生的微生物菌体蛋白饲料营养丰富,特别是植物饲料中缺乏的赖氨酸、蛋氨酸和色氨酸含量较高,生物学效价优于植物蛋白饲料^[17,34],而且生成周期短、效率高,可进行连续的工业化生产。张继,武光朋等针对高山娃娃菜、马铃薯废渣等蔬菜废弃物固体发酵生产饲料蛋白的研究显示,产物蛋白质含量高达 15.97%,较发酵料提高了 75%,粗品黄腐酸的平均产量为 1.06 g/L^[1,17]。另外也有苹果、马铃薯、甘薯等废渣的饲料化和有效成分提取与利用研究^[34-37]。徐抗震等以苹果渣发酵生产单细胞蛋白,所得发酵产物中的粗蛋白含量提高 12.15%,真蛋白含量提高 16.57%,而粗纤维则降低 5.84%^[33]。郑燕玉等以马铃薯渣为原料,在微波条件下提取果胶,果胶产率为 25.0%^[37]。

3.4 厌氧消化制产沼气和发酵菌体蛋白饲料集成分级处理

上述研究似乎存在一些缺陷。用作饲料的蔬菜废弃物必须是无有害物质污染的、腐烂程度较小、且成分相对单一、未混杂其他生活垃圾、较为干净的废弃物,但城市蔬菜废弃物大多混杂一定的生活垃圾,且大多腐烂较为严重。另外,其亚硝酸盐降解问题尚存在一定困难。考虑到上述几种蔬菜废弃物处理技术的不足之处,单一的堆肥化处理、厌氧发酵制气或蛋白饲料化处理均不完全符合城市蔬菜废弃物处理的需要,我们认为城市蔬菜类有机废弃物采用以厌氧消化为主的制产沼气和发酵菌体蛋白饲料技术的集成分级处理方案较为适合。即城市蔬菜类有机废弃物经初步

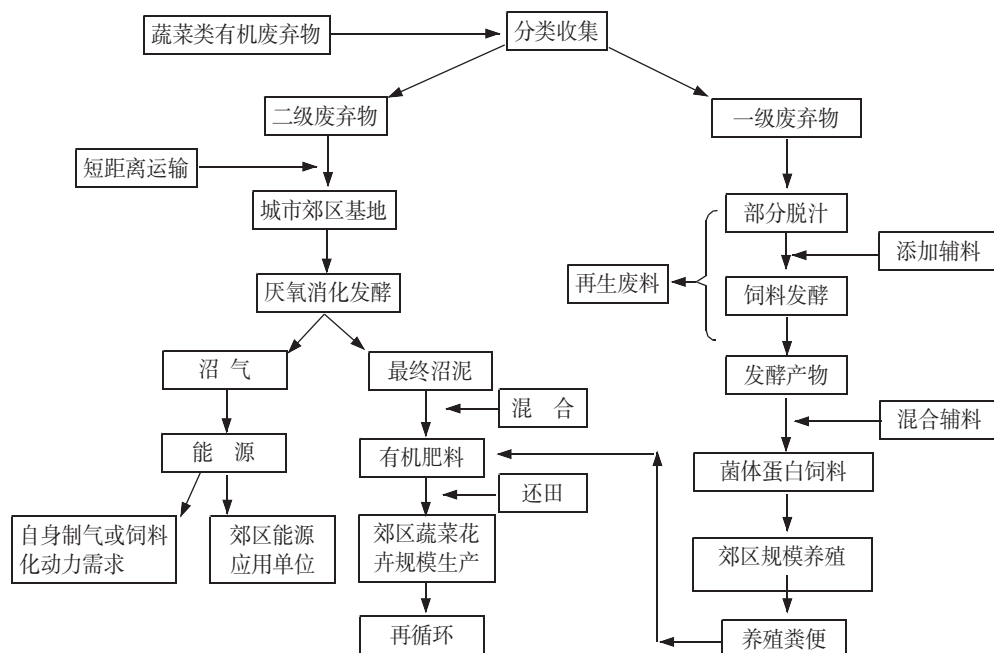


图 1 城市蔬菜类有机废弃物厌氧消化制产沼气和发酵菌体蛋白饲料集成分级处理模式

的分类收集后,经短距离运输,以城市郊区为基地,一级蔬菜废弃物(干净、腐烂程度低、集中、易收集)经添加秸秆等发酵辅料后,可采用微生物直接发酵为主的微生物蛋白饲料化处理技术,大规模发酵生产微生物蛋白饲料,产物直接用于郊区规模化养殖;二级蔬菜废弃物(混合有秸秆等生活垃圾、腐烂程度高、分散、较难收集)采用以厌氧消化为主的制产沼气技术,进行大规模厌氧消化生产沼气,产物直接用于自身制气动力需求或郊区能源需求单位,最终沼泥经混合堆制有机肥料用于郊区蔬菜生产基地(图1)。上述两种处理技术的有机结合,避免了堆肥化处理的占地、臭味、厌氧、运输等问题,也避免了厌氧生产沼气处理的温度要求高、再生资源利用率低和饲料化处理对原料要求过高的问题,处理彻底、能耗低、成本经济,较为适合城市蔬菜废弃物处理,在城市郊区具有相当的优势。

4 结束语

当今能源资源日益短缺、废弃物数量剧增而造成生态环境问题日益突出,有机废弃物,特别是城市蔬菜废弃物的无害化处理和资源化利用显得十分重要且必要。

生物质废弃物资源种类繁多,主要包括农业废弃物及农林产品加工业废弃物、薪柴、人畜粪便、城镇生活垃圾等几个方面^[38]。我国现阶段生

物废弃物利用以农村为主,城市多数为掩埋和直接燃烧,效率低下,严重威胁着城市生态环境和健康^[38]。生物废弃物能源低效使用和浪费容易使这些地区陷入环境污染、能源短缺和生态破坏的恶性循环之中。中国城市废弃物等生物能源蕴藏丰富,可开发潜力巨大,且随着农业的发展和城乡居民生活水平的提高,生物能源经济和技术可得性逐渐增大,生物废弃物能源资源量将还有所增加。我们提出的适合蔬菜废弃物处理利用的厌氧消化制产沼气和蛋白饲料化集成分级的处理模式可为城市蔬菜废弃物处理提供思路与建议,有待加快其应用研究。

参考文献:

- [1] 张继,武光明,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(自然科学版), 2007, 43(4): 85-89.
- [2] 黄鼎曦,陆文静,王洪涛. 农业蔬菜废弃物处理方法研究进展和探讨[J]. 环境污染治理与设备, 2002, 3(11): 38-42.
- [3] 党升荣,陵军成,吴建宏,等. RW菌种尾菜腐熟剂对娃娃菜尾菜的处理效果[J]. 甘肃农业科技, 2013(5): 13-14.
- [4] MONROE G E, TAYLOR J H. Traffic lanes for controlled traffic cropping system[J]. Agr. Eng. Res., 1989, 44(1): 23-31.
- [5] BIJAYA K. ADHIKARI. Urban food waster composting [J]. Montreal: Mc Gill University, 2005.

- [6] El-HAGGAR S M, HAMODA M F, Elbieh M A. Composting of vegetable waste in subtropical climates[J]. International Journal of Environment and Pollution, 1998, 9(4): 411-420.
- [7] VALLINA G, Pera A, VALDRIGHI M, *et al.* Process constraints in source collected vegetable waste composting[J]. Water Science and Technology, 1993, 28(2): 229-236.
- [8] HUANG J S, WANG C H, JIH C G. Empirical model and kinetic behavior of thermophilic composting of vegetable waste[J]. Environmental Engineering, ASCE, 2000, 126: 1 019-1 025.
- [9] 张瑞红, 张治勤. 采用厌氧分步固体反应器系统进行蔬菜废弃物厌氧分解 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(5): 134-139.
- [10] DINSDALE R M, PREMIER G C, HAWKES F R, *et al.* Two-stage anaerobic co-digestion of waste activated sludge and fruit/vegetable waste using inclined tubular digesters[J]. Bioresource Technology, 2000, 72: 159-168.
- [11] RAJESHWARI K V, LATA K, PANTH D C, *et al.* Novel process using enhanced acidification and a UASB reactor for bio-methanation of vegetable market waste [J]. Waste Manage Res, 2001, 1: 292-300.
- [12] NALLATHAMBI V, GUNASEELAN. Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks[J]. Biomass and Bioenergy, 2004, 26: 389-399.
- [13] PARAVIRA W, MURTO M, ZVAUYA R, *et al.* Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves [J]. Renewable Energy, 2004, 9: 1 811-1 823.
- [14] 胡天觉, 曾光明, 黄国和, 等. 富水农业植物废物的易降解性及对其他堆肥植物降解的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 57-59.
- [15] 毛羽, 张无敌. 菠菜叶秆厌氧发酵产气潜力的研究 [J]. 农业与技术, 2004, 24(2): 38-41.
- [16] 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, 24(4): 209-213.
- [17] 武光朋. 蔬菜废弃物的开发利用研究[D]. 甘肃: 西北师范大学, 2007.
- [18] 张意轩. 中国蔬菜产量世界第一[N]. 人民日报海外版, 2008-11-25(01).
- [19] 李国学, 李玉春, 李彦富. 固体废物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 252-256.
- [20] 孙永明, 李国学, 张夫道, 等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 169-173.
- [21] 石磊, 赵由才, 李兵. 小型有机垃圾生化处理机的开发与应用进展[J]. 中国沼气, 2004, 22(3): 15-18.
- [22] 张相锋, 王洪涛, 聂永丰. 通风量对蔬菜和花卉废弃物混合堆肥的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 134-137.
- [23] 闫文强. 张苏滩市场“噎”住雁滩亟待新的突围嬗变 [N]. 西部商报, 2008-04-28.
- [24] 黄红英, 常志州, 朱万宝, 等. 接种微杆菌对奶牛粪便堆肥的影响 [J]. 江苏农业科学, 2004, 6: 143-146.
- [25] VALLINI G, PERA A, SORACE G, *et al.* Green composting[J]. Bio. Cycle, 1990, 31(6): 33-35.
- [26] 杨文霞. 城市有机混合垃圾和农业有机废弃物的蚯蚓堆制处理[D]. 江苏南京: 南京农业大学, 2006.
- [27] 黄福珍. 蚯蚓[M]. 北京: 中国农业出版社, 1982.
- [28] CECCHI F, VALLINI G, MATA-ALVAREZ J. Anaerobic digestion and composting in an integrated strategy for managing vegetable residues from agroindustries or sorted organic fraction of municipal solid waste [J]. Water Science and Technology, 1990, 22(9): 31-44.
- [29] WEILAND P. One-and two-step anaerobic digestion of solid agro industrial residues[J]. Water Science and Technology, 1993, 27(2): 145-151.
- [30] WEILAND P. Review biomass digestion in agriculture: A successful pathway for the energy production and waste treatment in germany[J]. Engineering in Life Sciences, 2006, 6(3): 302-309.
- [31] 张无敌. 沼气发酵残留物利用基础[C]. 昆明: 云南科技出版社, 2002.
- [32] 曲静霞, 姜洋, 何光设, 等. 农业废弃物干法厌氧发酵技术的研究[J]. 可再生能源, 2004, 114(2): 40-41.
- [33] 徐抗震, 宋纪蓉, 黄洁, 等. 单细胞蛋白最佳接种混合比的研究[J]. 微生物学通报, 2003, 30(4): 36-39.
- [34] ANUPAMA, RARINDRA P. Value-added food: single cell protein[J]. Biotechnology Advances, 2000, 18: 459-479.
- [35] 秦蓉. 利用苹果渣发酵生产奶牛蛋白饲料及其应用研究[D]. 陕西: 西北大学, 2004.
- [36] 徐金瑞. 苹果渣中果胶的提取及纯化技术研究[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2003.
- [37] 郑燕玉, 吴金福. 微波法从马铃薯渣中提取果胶工艺的研究[J]. 泉州师范学报, 2004, 22(4): 58-61.
- [38] 刘刚, 沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布[J]. 自然资源学报, 2007, 22(1): 9-19.