

蔬菜废弃物沼气工程资源化利用高效模式解析

郭智勇*, 谢利芬, 王基国, 李中周, 李海燕

安阳市农业科学院, 河南 安阳

收稿日期: 2023年1月13日; 录用日期: 2023年2月10日; 发布日期: 2023年2月20日

摘要

蔬菜产生的大量废弃物对环境造成了巨大污染, 推动蔬菜废弃物资源化利用对农业绿色发展、乡村生态振兴具有重要意义。沼气工程在处理农业有机废弃物方面效果显著, 但沼气工程产生“三沼”综合利用问题已成为制约沼气工程正常运行的瓶颈问题。本研究以一大型沼气工程蔬菜废弃物资源化利用典型案例为例进行解析, 以资参考。

关键词

蔬菜废弃物, 沼气工程, 资源化, 利用, 模式

Analysis on Efficient Mode of Resource Utilization of Vegetable Waste Biogas Project

Zhiyong Guo*, Lifen Xie, Jiguo Wang, Zhongzhou Li, Haiyan Li

Anyang Academy of Agricultural Sciences, Anyang Henan

Received: Jan. 13th, 2023; accepted: Feb. 10th, 2023; published: Feb. 20th, 2023

Abstract

A large amount of vegetable waste has caused huge pollution to the environment, so it is of great significance to promote the resource utilization of vegetable waste for agricultural green development and rural ecological revitalization. The Biogas project has a remarkable effect on the treatment of agricultural organic waste, but the problem of comprehensive utilization of “three biogas” has become the bottleneck problem that restricts the normal operation of the biogas project. In this study, a typical case of resource utilization of vegetable waste from a large-scale biogas project was analyzed for reference.

*第一作者。

Keywords

Vegetable Waste, Biogas Engineering, Resource, Utilization, Patterns

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 我国蔬菜废弃物资源化利用现状

随着我国蔬菜产业蓬勃发展,产生了大量蔬菜废弃物。据估算 2018 年我国蔬菜废弃物总量高达 2.45 亿 t [1],造成了严重环境污染。针对这一问题,各地已纷纷开展了相关研究,取得了不同形式的研究成果并应用于生产。目前我国蔬菜废弃物资源化利用方式主要有肥料化(堆肥、直接还田)、能源化(沼气化、生物质发电、碳化)、饲料化(养殖业饲料)等[2],重要蔬菜生产基地寿光主要的资源化利用方式有沼气化、直接还田、堆肥、碳化等方式[3]。

2. 我国沼气工程的现状

沼气工程是指以厌氧消化为核心技术,集生物质废弃物处理、沼气生产、沼气和沼肥资源化利用为一体的系统性工程[4]。2000 年以来,我国沼气产业快速发展,截至 2018 年底,全国农村建设户用沼气池 3907.67 万个,年总产气量为 84.2 亿 m³;建设沼气工程 10.81 万处,年总产气量 27.55 亿 m³,沼气产业企业数量为 1298 个,从业人员 1.2 万人,年总产值 18.46 亿元。我国沼气事业在推动畜禽粪污资源化利用和农业绿色循环发展方面发挥了重要作用,也为国家的能源安全和生态文明建设作出了重要贡献。2016 年以来,随着我国能源结构优化和城乡一体化发展的加速,农村能源供给矛盾基本得到缓解,中小型沼气工程与户用沼气呈现萎缩趋势,沼气工程向规模化和大型化发展,沼气的功能定位已由过去纯能源型逐渐转为同时为环境保护、生态建设和能源安全服务,且前两者所占份额更大[5]。

3. 蔬菜废弃物沼气化利用研究应用现状

王艳飞等研究了温度、接种物以及发酵料液浓度对蔬菜废弃物厌氧发酵产沼气特性的影响,从而为指导大中型沼气工程规模化处理蔬菜加工废弃物提供理论依据[6]。宋玉晶等对寿光的蔬菜废弃物处理情况进行了调研,指出蔬菜废弃物沼气化处理是一种高效途径,是很好的循环利用方式[7]。谷伟楠等研究了规模化沼气工程处理蔬菜废弃物技术优势,总结出了“蔬菜种植加工企业-清洁能源-绿色肥料-高效种植业”循环发展的农业经济模式,为蔬菜废弃物资源化综合利用提供了借鉴和参考[8]。

农业废弃物资源化利用是农业绿色发展的重要环节,是沼气产业发展的重要方向。安阳市农作物秸秆资源量为 326.6 万 t 农作物秸秆综合利用率接近 90% [9]。安阳市 2019 年蔬菜产量 479.4 万吨(安阳统计年鉴~2020),蔬菜废弃物约 143.82 万 t,大部分未得到科学处理资源化利用,特别是设施蔬菜生产集中区域一到当季生产结束大量菜秧会堆积路旁造成严重环境污染。沼气、沼液、沼渣的综合利用是蔬菜废弃物沼气工程资源化利用的关键环节,对蔬菜废弃物沼气工程资源化利用可持续发展起着关键性作用。河南麦多生态农业科技有限公司在 2019 年承担了河南省沼肥综合利用生态循环农业示范项目,在蔬菜废弃物资源化利用方面硬件设施与技术基础都十分完备,将园区内的蔬菜废弃物作为沼气原料实现了资源化高效利用。笔者针对麦多公司蔬菜废弃物沼气工程资源化利用的高效模式进行了长期跟踪技术服务,模式分析总结如下,以供参考。

4. 河南麦多生态农业科技有限公司蔬菜废弃物沼气工程资源化利用模式

河南麦多生态农业科技有限公司位于河南省安阳市汤阴县五陵镇小宋村,主要从事以大型沼气工程为核心的绿色生态循环农业产业开发。公司基地面积 33 hm², 种植果菜约 6 hm², 农作物约 25 hm², 每年产生瓜菜废弃物 200 t, 农作物秸秆 800 t, 全部用于沼气生产。该公司建有 7000 m³ 大型沼气设施, 主要处理公司蔬菜、农作物生产废弃物及附近养殖场粪污、农村有机废弃物、病死畜禽等。生产的沼气经管道入户作为清洁能源供农户使用、沼气发电转化为清洁电能、园区设施农业加温取暖等途径进行资源化利用; 沼液、沼渣加工为有机肥料, 除园区绿色有机生产自用外作为商品有机肥出售产生经济效益; 利用沼气、沼液资源优势, 建设绿色有机食品生产基地, 番茄、西瓜、茄子、白菜等多个品种已通过有机认证和绿色食品认证, 年生产绿色、有机农产品 2500 t。沼气、有机肥、绿色有机果蔬产品等年收入约 420 万元, 形成了以大型沼气工程为核心的蔬菜废弃物资源化利用高效生态循环农业模式, 极大推进了当地乡村环境治理、美丽乡村建设。该公司独特的产业发展模式吸引了省内外多地有关单位前来考察、调研、学习, 2021 年 9 月被农业农村部农业生态与资源保护总站确定为我国第一批生态农场监测试点之一。

4.1. 发酵工艺与沼气设施

厌氧发酵过程是各种有机物在厌氧条件下, 被各类沼气发酵微生物分解转化, 最终产生沼气的过程 [10]。采用湿式厌氧消化技术, 将发酵特性互补的几种原料与设施蔬菜废弃物混合处理厌氧发酵效果好 [11]。河南麦多生态农业科技有限公司以蔬菜废弃物、农作物秸秆、畜禽粪污、病死畜禽等有机废弃物为厌氧发酵原料, 采用混合发酵工艺, 利用太阳能增温沼气池厌氧发酵生产沼气。配套设施有: 厌氧发酵池、储气柜、固液分离平台、储液池等, 其中厌氧发酵池是主要设施, 为半地上半地下新型沼气池。池体基础采用钢筋混凝土浇筑, 池墙采用砖混结构, 池顶采用进口复合材料做覆盖, 池体北面用彩钢瓦和保温板进行保温, 南面采用阳光板, 利用太阳能增温。储气柜采用柔性储气柜, 外加彩钢瓦整体保护。发酵工艺见图 1。其中固液分离后的碳转化处理环节为本技术模式的关键环节, 碳转化是有机废弃物肥料化的关键技术。有机物厌氧发酵过程中分解出的水溶有机小分子被厌氧微生物繁殖消耗掉, 剩下水溶有机大分子成为沼液内含物, 水不溶物即为沼渣。沼液碳转化技术就是在沼液中添加有机碳菌液(含复合菌群和水溶小分子有机碳), 把沼液中水溶性大分子有机物分解为水溶性小分子有机碳。

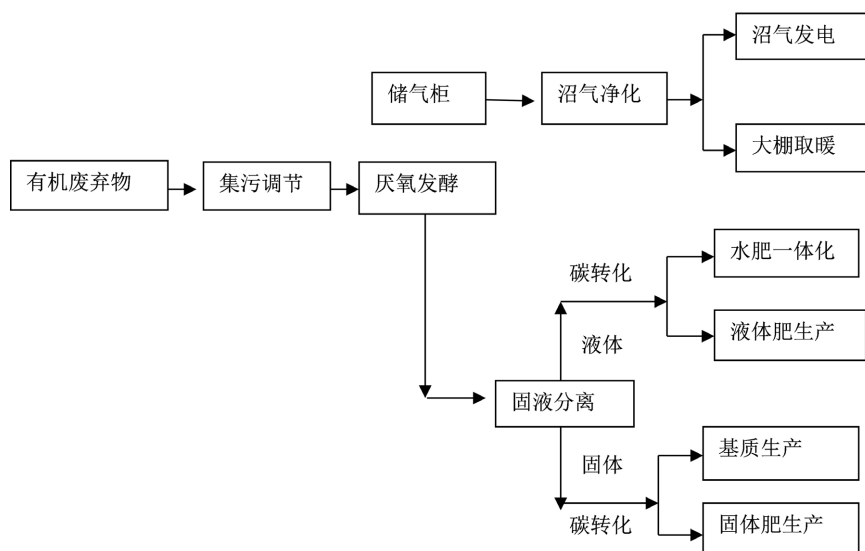


Figure 1. Anaerobic fermentation process of organic wastes such as vegetable wastes
图 1. 蔬菜废弃物等有机废弃物厌氧发酵工艺

4.2. “三沼”产品利用途径、沼气下游高附加值产品的开发。

4.2.1. 沼气

生产出的沼气，用于为园区设施农业供暖，通过管道远距离恒压输送到附近村庄，为周边 3 个村庄 800 余户农民及用能企业供气，剩余沼气的发电并创造经济效益，实现了沼气的充分利用。

4.2.2. 沼液、沼渣

沼气工程连续产生的大量沼渣、沼液的处置需要及时进行处理，目前已成为制约沼气工程正常运行的瓶颈问题，沼渣沼液的高附加值处理技术将是未来研究的热点方向[12]。河南麦多生态农业科技有限公司建成了沼液、沼渣深加工有机肥生产线各 1 条，田间沼液微喷灌溉系统 1 套。

沼液深加工工艺：将生产出的沼液加热至 60℃，恒温 2 h 后加入碳菌液菌种，继续恒温 3 h 后加入微量元素铁、锰、锌、钙、镁、硫、氯、钼、硼，继续恒温整合 2 h 后进入冷却环节，将液体冷却至常温，包装后成为液态有机肥。

沼渣生产有机肥工艺：整个生产工艺流程主要分为两部分，第一步是原料的好氧堆肥发酵；第二步成品有机肥的生产加工。堆肥发酵周期 12~15 天，物料可以升温到 55℃~70℃ 之间，高温可以维持 10~15 天左右。发酵过程中每 2~3 天需要进行一次翻堆。好氧发酵完成后进行二次陈化，陈化之后物料水分降低合适，再运至加工车间进行粉碎、筛分、制粒、冷却、筛分、包装等工序。生产的固体有机肥技术指标 $N + P_2O_5 = K_2O \geq 5\%$ ，有机质 $\geq 45\%$ ，获得了有机肥料登记证。

4.3. 蔬菜高效绿色生态循环生产模式

以沼气工程发酵产物及生产的有机肥为蔬菜生产所需肥料，进行绿色有机食品生产，产生的蔬菜废弃物重新用于沼气生产，形成了以口感番茄、彩虹西瓜、白菜等绿色食品生产为主的蔬菜高效绿色生态循环生产模式。

4.3.1. 沼渣、沼液在蔬菜生产中的应用效果

提供养分：口感番茄、彩虹西瓜采用槽式无土栽培。通过固液分离后的沼渣，在槽式发酵槽内加入专用发酵菌剂进行 14 天好氧发酵。发酵后将沼渣与珍珠岩按 3:1 的比例进行搅拌作为栽培基质，搅拌后的基质放入高 15 cm、宽 20 cm、长度可根据地块调节的栽培槽中备用。采用的沼渣符合 NY/T 2374-2013 沼气工程沼液沼渣后处理技术规范中的规定，生长过程全程施用加工过的沼液滴灌追肥。沼肥不但含有作物生长必须的 N、P、K 等大量元素，还含有 Zn、Fe 等多种微量元素，养分含量齐全，容易被植物吸收利用，全程不施用化肥。

病虫害防治：沼液中的拮抗微生物使沼液具有抑菌防病的重要作用[13]。大量的实验表明，沼气发酵残留物对农作物许多病虫害均能起到良好的杀灭和抑制效果。其作用机理：① 直接抑制或杀灭作用；② 保护植物免受病虫害的侵害；③ 促进作物生长，提高其抗逆、抗病虫害的能力[14]。河南麦多生态农业科技有限公司利用沼渣沼液资源进行的口感番茄、彩虹西瓜、白菜等生产过程中，植株生长健壮，抗病虫害能力强，病虫害发生较少，通过选用抗病品种、嫁接栽培、合理整枝、通风降湿、及时摘除病叶病果、高温闷棚、使用防虫网、悬挂粘虫板、利用捕食螨、丽蚜小蜂等农业防治、物理防治、生物防治方法防治病虫害，全程不使用化学农药。

其他生产管理：按照 NY/T 391-2013 绿色食品产地环境质量、NY/T 393-2013 绿色食品农药使用准则、NY/T 394-2013 绿色食品肥料使用准则有关规定实行。

沼渣沼液种植白菜品质：经检测，麦多施用沼渣沼液种植的白菜 12 个品质指标均超过市场销售的同品种白菜品质指标，见表 1。

Table 1. Comparison of the quality indexes of Maiduo Chinese cabbage and those of market Chinese cabbage (all varieties were Xiaobao 23)**表 1.** 麦多白菜与市场白菜品质指标对比(品种均为小包 23)

指标	天冬氨酸 mg/100g	苏氨酸 mg/100g	谷氨酸 mg/100g	甘氨酸 mg/100g	蛋氨酸 mg/100g	亮氨酸 mg/100g	酪氨酸 mg/100g	苯丙氨酸 mg/100g	赖氨酸 mg/100g	脯氨酸 mg/100g	蛋白质 %	维生素 C mg/100g
市场白菜	14.08	11.03	274.77	9.87	3.68	13.00	7.62	8.34	13.93	66.70	1.53	46.3
麦多白菜	18.40	13.30	296.93	11.29	4.38	16.39	8.92	9.75	18.37	77.59	1.63	56.1

经济效益：2022 年口感番茄亩产 4300 kg，售价 16 元/kg；彩虹西瓜亩产 5000 kg，售价 10 元/kg；白菜亩产 5065 kg，售价 8 元/kg，经济效益显著。

4.3.2. 废弃物处理

口感番茄、彩虹西瓜生产结束后作为沼气工程发酵原料生产沼气，完成蔬菜生产废弃物循环利用环节。

5. 结论

我国 2030 年碳达峰、2060 年碳中和的战略目标，为沼气行业的发展带来了新机遇。在乡村振兴的背景下，蔬菜废弃物沼气工程资源化利用模式以循环经济理论为指导思想，以可持续发展观为发展理念，综合沼气产业的发展特点，构建了蔬菜废弃物沼气化处理生态循环农业发展模式，对蔬菜废弃物等农村有机废弃物进行了无害化处理和资源化利用，生产出了新能源沼气和农业生产绿色投入品有机肥料，进行了绿色食品规模化生产，实现了蔬菜废弃物等农村有机废弃物的资源化利用，推进了生态循环农业区域化和全产业链发展，提升了技术装备水平，推动当地出台了一批优惠政策、创新了有地域特色的运管机制。本模式的成效说明了以下问题：

① 包括蔬菜废弃物在内的农村有机废弃物的沼气工程处理资源化利用在技术和模式上是高效可行的，持续良好的运行还需要配套的政策支持和运营管理。

② 农村大中型沼气工程主要的功能是农村人居环境改善、有机废弃物的资源化循环利用。

③ 当地政府的有关扶持政策能够执行到位，保证大中型沼气工程可持续发展。

此模式适合蔬菜废弃物、农作物秸秆、畜禽粪污及农村其他有机废弃物产生量大、相对集中的地区，当地政府有相关支持政策并落实到位。

基金项目

2018 年河南省科技攻关项目，项目编号 182102110431。

参考文献

- [1] 刘佳豪, 姚昕, 翟胜, 孙树臣, 杨伟鹏, 魏蓉, 陈锦秀, 丁新惠, 田晓飞. 我国蔬菜废弃物资源化利用技术分析展望[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 636-644.
- [2] 秦渊渊, 郭文忠, 李静, 李海平, 李灵芝, 余礼根, 李友丽. 蔬菜废弃物资源化利用研究进展[J]. 中国蔬菜, 2018(10): 17-24.
- [3] 李培之. 寿光蔬菜废弃物处理措施与成效[J]. 中国蔬菜, 2017(3): 13-15.
- [4] 袁彧, 刘研萍, 陆文静, 马宗虎, 李超. 规模化沼气工程消化效率及碳减排核算[J]. 环境工程学报, 2019, 13(1): 204-212.
- [5] 李景明, 徐文勇, 李冰峰, 张大雷. 关于中国沼气行业发展困境和出路的思考[J]. 可再生能源, 2020, 38(12): 1563-1568.
- [6] 王艳飞, 徐锐, 史珊, 代媛, 梁高飞. 蔬菜废弃物厌氧发酵制沼气的工艺条件研究[J]. 可再生能源, 2019, 37(8):

1107-1112.

- [7] 宋玉晶, 柴立平. 我国蔬菜废弃物综合利用模式分析——以寿光为例[J]. 中国蔬菜, 2018(1): 12-17.
- [8] 谷伟楠, 兰艳艳, 洪俊杰. 蔬菜废弃物规模化沼气工程资源化综合利用模式探讨[J]. 低碳世界, 2019, 9(1):31-32.
- [9] 于新芹. 安阳市农业面源污染综合防治现状及对策探讨[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2021, 33(2): 16-19.
- [10] 刘芳, 邱凌, 李自林, 周彦峰, 张月, 孙全平. 蔬菜废弃物厌氧发酵产气特性[J]. 西北农业学报, 2013, 22(10): 162-170.
- [11] 金慧, 刘士辉, 孙文华, 张中林, 金静. 设施蔬菜废弃物厌氧消化制取沼气工艺的研究进展[J]. 安徽农学通报, 2016, 22(16): 72-73.
- [12] 屈安安, 郑鑫, 王阳, 冉毅, 贺莉, 梅自力, 林聪, 段娜. 基于文献计量的沼渣沼液处理利用技术研究态势分析[J]. 中国沼气, 2020, 38(6): 86-94.
- [13] 马艳, 李海, 常志州, 徐跃定, 张建英. 沼液对植物病害的防治效果及机理研究 I: 对植物病原真菌的抑制效果及抑菌机理初探[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(2): 366-374.
- [14] 张无敌, 宋洪川, 丁琪, 韦小岩, 熊志伟, 陶朴良. 沼气发酵残留物防治农作物病虫害的效果分析[J]. 农业现代化研究, 2001, 22(3): 167-170.