Water Pollution and Treatment 水污染及处理, 2026, 14(4), 250-255
Published Online October 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/wpt
https://doi.org/10.12677/wpt.2026.144026

Hans汉斯

餐厨垃圾浆液厌氧产酸工艺研究

张现海，王　臣，吴盛阳，刘思洋，张德慧

安徽浩悦再生资源利用有限责任公司，安徽　合肥

收稿日期：2026年9月30日；录用日期：2026年10月23日；发布日期：2026年10月29日

摘　要

针对餐厨垃圾资源化利用过程，以分选除杂、破碎制浆提油后的餐厨垃圾浆液为研究对象，开展厌氧水解产酸工艺实验，分别考察初始pH、反应温度、污泥接种比例、发酵时间对餐厨垃圾浆液挥发性脂肪酸(VFA)积累效果的影响。结果表明：碱性环境可有效抑制产甲烷菌活性，减少VFA消耗；初始pH = 9、反应温度35℃、污泥接种比例8:1条件下餐厨垃圾浆液产酸性能最优；在pH = 9、35℃、接种比8:1工况下，发酵第8天VFA达到峰值，之后因底物消耗与产甲烷菌复苏，VFA浓度开始下降。本研究可为餐厨垃圾定向产酸制备酸化液提供工艺参数参考。

关键词

餐厨垃圾，厌氧，产酸

Study on Anaerobic Acid-Production Process of Kitchen Waste Slurry

Xianhai Zhang, Chen Wang, Shengyang Wu, Siyang Liu, Dehui Zhang

Anhui Haoyue Renewable Resources Utilization Co. Ltd., Hefei Anhui

Received: September 30, 2026; accepted: October 23, 2026; published: October 29, 2026

Abstract

Aiming at the resource utilization of kitchen waste, kitchen waste slurry obtained after sorting and impurity removal, crushing, pulping and oil extraction was used as the research object. Anaerobic hydrolysis and acid-production experiments were carried out to investigate the effects of initial pH, reaction temperature, sludge inoculation ratio and fermentation time on the accumulation of volatile fatty acids (VFA) in kitchen waste slurry. The results show that alkaline conditions can effectively inhibit the activity of methanogens and reduce the consumption of VFA. The optimal acid-production performance of kitchen waste slurry is achieved under the conditions of initial pH of 9,

文章引用: 张现海, 王臣, 吴盛阳, 刘思洋, 张德慧. 餐厨垃圾浆液厌氧产酸工艺研究[J]. 水污染及处理, 2026, 14(4): 250-255. DOI: 10.12677/wpt.2026.144026

reaction temperature of 35˚C and sludge inoculation ratio of 8:1. Under the operating conditions of pH = 9, 35˚C and inoculation ratio of 8:1, VFA reaches its peak value on the 8th day of fermentation, and then the VFA concentration decreases due to substrate depletion and the recovery of methanogens. This study can provide technical parameter references for preparing acidified liquid by directional acid production from kitchen waste.

Keywords

Kitchen Waste, Anaerobic Hydrolysis, Acid-Production

Copyright © 2026 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. 引言

随着我国城市餐厨垃圾产生量逐年增加，餐厨垃圾具有有机质含量高、易腐败、油脂与蛋白质丰富的特点，若处置不当极易造成环境污染，同时其蕴含大量可利用的碳氮资源，具备很高的资源化潜力[1]。传统餐厨垃圾处理包含填埋、焚烧、好氧堆肥、全流程厌氧产甲烷等方式，全厌氧产甲烷工艺对运行控制要求严苛，易受有机酸累积抑制，且产物仅以沼气为主，产品形式较为单一[2]。

厌氧定向产酸是餐厨垃圾资源化的重要技术路径，通过控制工艺条件，将餐厨垃圾大分子有机物水解转化为高浓度挥发性脂肪酸(VFA)，得到的酸化液可作为碳源用于污水脱氮除磷、微生物发酵等场景，实现废弃物的资源循环利用[3]。在餐厨垃圾厌氧水解过程中，pH、温度、污泥接种量、发酵时间等参数会直接影响水解酸化菌群、产甲烷菌的活性，进而决定 VFA 的积累水平。产甲烷菌会消耗体系内 VFA 生成甲烷，如何抑制产甲烷代谢、实现有机酸大量富集，是定向产酸工艺的关键控制点[4]。

目前针对餐厨垃圾定向产酸，不同原料底物、接种污泥来源对应的最优工艺条件存在差异。本实验以经过分选除杂、破碎、制浆、提油预处理后的餐厨垃圾浆液为底物，探究 pH、温度、污泥接种比例、反应时间对产酸效果的影响，确定该餐厨垃圾浆液厌氧产酸适宜工艺条件，为餐厨垃圾制备酸化液的工程应用提供实验依据。

2. 材料与方法

2.1. 实验材料

餐厨垃圾经过分选除杂、破碎、制浆、提油后得到餐厨垃圾浆液，接种污泥为某有机资源处理中心餐厨垃圾厌氧硝化罐内污泥，指标如下表 1 所示。

Table 1. Characteristics of food waste slurry and inoculum sludge
表 1. 餐厨垃圾浆液、接种污泥指标

	pH	COD (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	总氮 (mg/L)	VFA (mg/L)	TS %	VS %
餐厨垃圾浆液	4.07	87,000	290	390	2400	4838	7.68	6.28
接种污泥	7.86	5130	2320	74	2500	149	3.67	1.53

2.2. 实验仪器

实验过程用到的主要仪器设备如下表 2 所示。

Table 2. Main experimental instruments and equipment
表 2. 实验主要仪器设备

仪器设备名称	规格	厂家
恒温加热磁力搅拌器	DF-101S	河南予华仪器有限公司
电子天平	YP10K-1	上海舜宇恒平科学仪器有限公司
一体化蒸馏仪	LD602	山东罗丹尼分析仪器有限公司
快速消解仪	DRB200	哈希水质分析仪器(上海)有限公司
分光光度计	DR6000	哈希水质分析仪器(上海)有限公司
气相色谱	TRACE1600	赛默飞世尔科技公司
发酵瓶	5 L	四川蜀玻有限责任公司

2.3. 实验步骤

取 5 L 餐厨垃圾浆液置于有效容积 5 L 发酵瓶中，用液碱调节底物 pH，打开恒温磁力搅拌器搅拌速率 30 HZ，边搅拌边接种一定量厌氧发酵污泥，接种完成后密封发酵瓶，控制反应温度，定期检测发酵液指标。

3. 结果与讨论

3.1. pH 对餐厨垃圾浆液产酸的影响

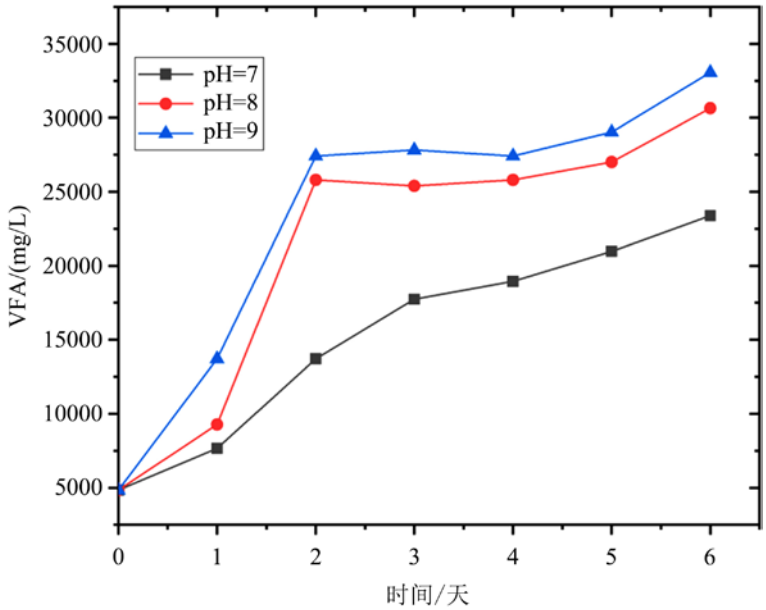


Figure 1. Effects of pH on acid production of kitchen waste slurry
图 1. 不同 pH 对餐厨垃圾浆液产酸的影响

取 15 L 餐厨垃圾浆液均分三组，分别置于有效容积 5 L 发酵瓶中，用 30%液碱调节各组 pH 至 7、8、9，打开恒温磁力搅拌器 30 HZ，边搅拌边按 10:1 比例接种厌氧污泥，控制温度在 35℃，探究 pH 对餐厨垃圾浆液产酸的影响，实验结果如图 1 所示。

从实验结果(图 1)可以看出，在接种比例相同、反应温度一致的条件下，pH = 9 的实验组产酸效果最好，VFA 最高可达 30,000 mg/L，pH 越低，产酸效果越差。主要原因在于 pH 为 6~8 时，产甲烷菌仍具有一定活性，会消耗部分 VFA 并将其转化为气体逸出，而碱性条件能够抑制产甲烷菌的活性[5]，使产生的 VFA 不被消耗。另外，餐厨垃圾浆液在水解起始阶段会形成大量的有机酸，导致反应系统 pH 迅速降低，不利于水解菌和产酸菌生长，而初始 pH 呈碱性，可缓冲餐厨浆液水解酸化的冲击，使 pH 维持在水解作用的适宜范围，因此 pH = 9 时产酸效果最佳。

通过气相色谱分析，pH = 7 时丁酸、丙酸相对更容易积累；pH = 8 时乙酸、丙酸占比相当，pH = 9 乙酸占比进一步升高，为主要发酵产物。发酵 pH 显著影响 VFA 组分分布，pH 升高有利于乙酸占比提升。

3.2. 温度对餐厨垃圾浆液产酸的影响

取 15 L 餐厨垃圾浆液均分三组，分别置于有效容积 5 L 发酵瓶中，用 30%液碱调节各组 pH = 9，打开恒温磁力搅拌器 30 HZ，边搅拌边按 10:1 比例接种厌氧污泥，控制反应温度在 35℃、45℃、55℃，探究温度对餐厨垃圾浆液产酸的影响，实验结果如图 2 所示。

由图 2 可知，在接种比例相同、初始 pH 一致的条件下，35℃实验组产酸效果最好，VFA 最高可达 32,000 mg/L，温度越高产酸效果越差。主要因为接种污泥为某有机资源处理中心餐厨垃圾厌氧发酵污泥，其发酵工艺为中温厌氧。随着温度升高产酸菌活性降低，甚至失活。

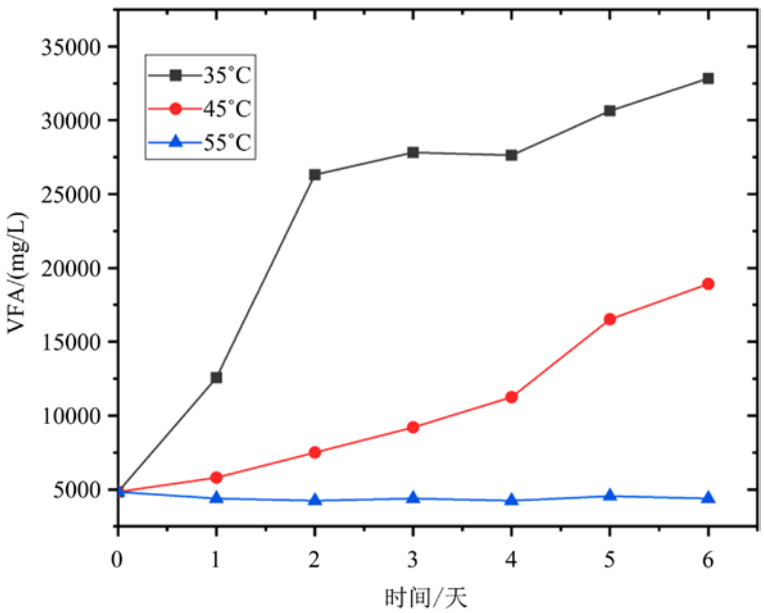


Figure 2. Effects of temperature on acid production from kitchen waste slurry
图 2. 不同温度对餐厨垃圾浆液产酸的影响

3.3. 污泥接种比例对餐厨垃圾浆液产酸的影响

取 15 L 餐厨垃圾浆液均分三组，分别置于有效容积 5 L 发酵瓶中，用 30%液碱调节各组 pH = 9，打开恒温磁力搅拌器 30 HZ，控制反应温度在 35℃，分别按照 8:1、10:1、15:1 比例接种厌氧污泥，探究污

泥接种比例对餐厨垃圾浆液产酸的影响，实验结果如图 3 所示。

根据图 3 结果可知，污泥接种比例 = 8:1 的实验组产酸效果最好，接种污泥携带水解酸化菌，接种量大水解酸化菌的丰度高，水解酸化启动快。随着接种污泥比例增大(10:1→15:1)，有机负荷升高、初始功能微生物不足，底物降解产生的抑制物累积，导致产酸性能逐步下降。接种比例 8:1 和 10:1 产酸效果没有较明显区别，可能是接种量偏大，污泥微生物内源呼吸消耗造成的[6]。

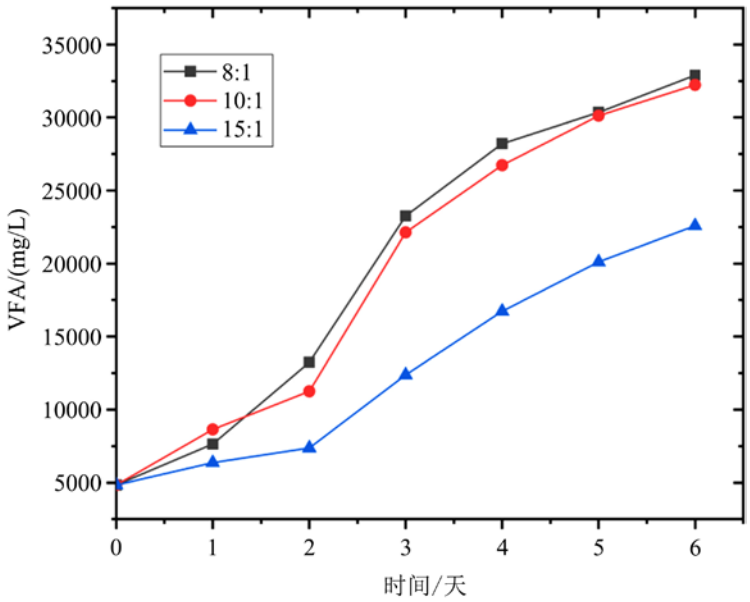


Figure 3. Effects of inoculation ratio on acid production from kitchen waste slurry
图 3. 不同接种比例对餐厨垃圾浆液产酸的影响

3.4. 时间对餐厨垃圾浆液产酸的影响

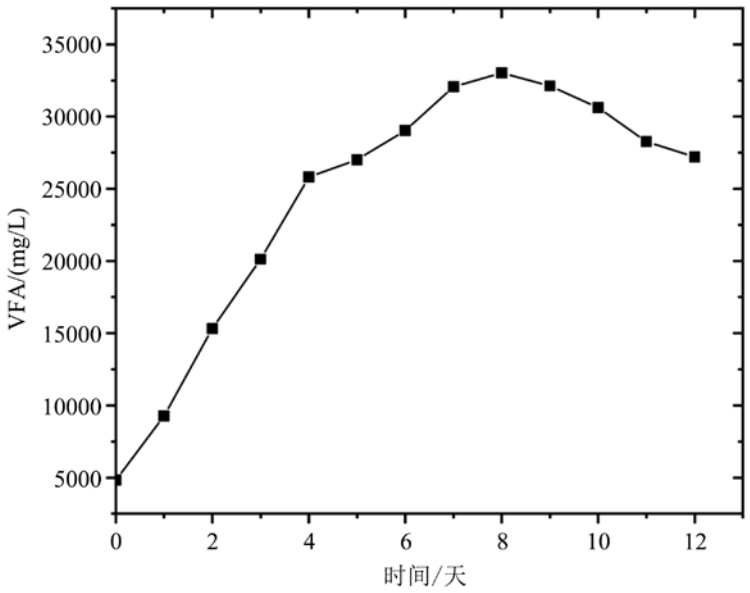


Figure 4. Effects of fermentation time on acid production from kitchen waste slurry
图 4. 时间对餐厨垃圾浆液产酸的影响

取 15 L 餐厨垃圾浆液均分三组，分别置于有效容积 5 L 发酵瓶中，用 30%液碱调节各组 pH = 9，打开恒温磁力搅拌器 30 HZ，边搅拌边按 8:1 比例接种厌氧污泥，控制反应温度在 35℃，每天取样检测 VFA，探究反应时间对餐厨垃圾浆液产酸的影响，实验结果如图 4 所示。

由图 4 结果可知，温度 35℃、初始 pH = 9、接种污泥比例 10:1，随发酵时间变化，挥发性脂肪酸(VFA)呈现先上升，第 8 天达到峰值，第 9 天开始下降。发酵初期(0~8 天)餐厨垃圾中的淀粉、蛋白质、油脂等大分子有机物，在水解菌作用下逐步水解为可溶性单糖、氨基酸等小分子底物；产酸菌利用小分子底物快速代谢生成 VFA。随着反应进行，可降解底物不断消耗，产酸速率逐步放缓。第 9 天开始 VFA 开始下降主要是因为餐厨垃圾中易水解的组分在 8 d 左右大量消耗，剩余为难降解有机质，水解速率大幅降低，新生成 VFA 的速率显著下降。另一方面，前期体系高 pH，抑制产甲烷菌；随着产酸不断进行，体系 pH 逐步降低，当 pH 回落至产甲烷菌适宜区间(6.5~7.5)，污泥中的产甲烷菌被激活，以 VFA 为底物，将有机酸转化为 CH_4 和 CO_2，造成 VFA 快速消耗。

4. 结论

1) 初始 pH 对餐厨垃圾浆液产酸效果影响显著，pH = 7、8、9 三组对比，pH = 9 的碱性条件产酸效果最优。碱性条件能够抑制产甲烷菌活性，避免生成的 VFA 被产甲烷菌消耗；pH 降低时产甲烷菌活性回升，VFA 被消耗，产酸效果变差。发酵 pH 显著影响 VFA 组分分布，pH 升高有利于乙酸占比提升。

2) 温度实验结果显示，接种污泥为中温厌氧发酵来源污泥，35℃中温条件下产酸效果最好，VFA 最高可达 32,000 mg/L；温度升高至 45℃、55℃，产酸菌活性下降甚至失活，VFA 积累量明显降低。

3) 污泥接种比例 8:1、10:1、15:1 对比，接种比例 8:1 产酸性能最优，充足的接种污泥可以提供丰富水解酸化微生物，加快水解酸化启动；接种比增大到 15:1 后，有机负荷升高，抑制性物质累积，产酸性能下降；8:1 与 10:1 两组产酸水平差距较小。

4) 在 pH = 9、温度 35℃、接种比例 8:1 条件下，VFA 随发酵时间先升高后降低，发酵第 8 天 VFA 达到峰值，第 9 天开始下降。前期大分子有机物水解生成小分子底物，产酸菌代谢积累 VFA；发酵后期易降解底物消耗殆尽，同时体系 pH 回落，产甲烷菌恢复活性，消耗 VFA，造成有机酸浓度下降。综合来看该餐厨垃圾浆液定向产酸建议控制发酵周期 8 d 左右。

5) 本研究条件下，餐厨垃圾浆液产酸推荐工艺参数：初始 pH = 9，反应温度 35℃，污泥接种比例 8:1，发酵时间 8 d。该工况可实现 VFA 高效富集，为后续酸化液资源化利用提供基础。

6) 本研究所用餐厨垃圾浆液与接种污泥均来自某有机资源处理中心，由于不同地区饮食习惯不同其物理化学及接种污泥的生物特性有一定的差别，本研究结论可能存在一定的局限性。

参考文献

[1] 张波, 蔡伟民, 何品晶. pH 调节方法对厨余垃圾两相厌氧消化中水解和酸化过程的影响[J]. 环境科学学报, 2006, 26(1): 45-49.

[2] 吕凡, 章骅, 邵立明, 何品晶. 基于物质流分析餐厨垃圾厌氧消化工艺的问题与对策[J]. 环境卫生工程, 2017, 25(1): 1-9.

[3] 张玉静. 餐厨垃圾艳阳水解产挥发性脂肪酸技术研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 清华大学, 2013.

[4] 桂许维, 罗艺芳, 李振轮, 聂铭, 等. 餐厨垃圾协同剩余污泥发酵产酸的生物过程与影响因素研究进展[J]. 生物工程学报, 2021, 37(2): 448-460.

[5] 张玉静, 蒋建国, 王佳明. pH 值对餐厨垃圾厌氧发酵产挥发性脂肪酸的影响[J]. 中国环境科学, 2013, 33(4): 680-684.

[6] 赵宋敏, 李定龙, 王晋, 马建锋, 申荣艳. 基于活性污泥的厨余垃圾厌氧发酵产酸研究[J]. 环境工程学报, 2011, 5(1): 205-208.