

不同接种比条件下的餐厨垃圾厌氧发酵特性研究

蔡鑫¹ 王俊² 徐成飞² 张炯杰²

1 盐城市大丰生态环境局 2 江苏南大华兴环保科技股份有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i5.2684

[摘要] 本研究以餐厨垃圾为发酵底物,探究了不同接种比对餐厨垃圾厌氧发酵产短链有机酸(Short-chain organic acids, SCOAs)的影响。研究共设置4组接种比(餐厨垃圾:接种污泥=1:0、2:1、1:1、1:2)。结果表明:不同接种比显著影响发酵类型和产酸效率。与未接种组(R0)相比,接种污泥的引入显著提升了餐厨垃圾的SCOAs产率。其中,接种比为1:1(R2)的SCOAs产率最高,达403.71mg/g-VS,是R0的2.72倍,且发酵类型为乙酸型(乙酸占比>70%)。此外,接种污泥有效促进了溶解性蛋白质和多糖的降解转化。本研究证实了接种比1:1是优化餐厨垃圾厌氧发酵高效产SCOAs的最适接种比,为餐厨垃圾资源化处理工艺参数的优化提供了理论依据。

[关键词] 餐厨垃圾; 接种污泥; 接种比; 厌氧发酵; 短链有机酸

中图分类号: TU824+.5 **文献标识码:** A

Study on the anaerobic fermentation characteristics of food waste under different inoculation ratios

Xin Cai¹ Jun Wang² Chengfei Xu² Jiongjie Zhang²

1 Dafeng Ecological Environment Bureau

2 Jiangsu Nanda Huaxing Science and Technology of Environmental Protection Co., Ltd.

[Abstract] This study investigated the influence of different inoculum ratios on the production of short-chain organic acids (SCOAs) during anaerobic fermentation of food waste as the substrate. A total of 4 groups of inoculation ratios (food waste: inoculated sludge = 1:0, 2:1, 1:1, 1:2) were set up in the study. The results demonstrated that the different inoculation ratios significantly affected the fermentation type and acid production efficiency. Compared with the unvaccinated group (R0), the introduction of inoculated sludge significantly increased the SCOAs yield of food waste. Among them, the yield of SCOAs with an inoculation ratio of 1:1 (R2) was the highest, reaching 403.71 mg/g-VS, which was 2.72 times that of the R0, and the fermentation type was acetic acid type (acetic acid proportion >70%). Furthermore, inoculation sludge effectively promotes the degradation and conversion of soluble proteins and polysaccharides. This study confirmed that the inoculation ratio of 1:1 was the optimal inoculation ratio to optimize the efficient production of SCOAs in anaerobic fermentation of food waste, which provided a theoretical basis for the optimization of food waste resource treatment process parameters.

[Key words] food waste; inoculation sludge; inoculum ratio; anaerobic fermentation; SCOAs

1 绪论

随着全球城市化进程的加快,餐厨垃圾的排放量呈上升趋势。餐厨垃圾具有水分高、有机物含量高、易腐败等特点,如若处理不当,会对环境造成二次污染。

厌氧发酵适用于高有机质、高水分、易生物降解的餐厨垃圾。近年来,利用餐厨垃圾厌氧发酵生产短链有机酸(Short-chain organic acids, SCOAs)受到了越来越多研究学者的关注^[1]。然而,单一餐厨垃圾发酵工艺存在营养物质失衡、缺乏产酸菌群的问题,制约了工艺的处理效率和运行稳定性的提

升^[2]。

鉴于此,本研究以餐厨垃圾为发酵底物,接种污泥为接种物,探究了不同接种比对餐厨垃圾厌氧发酵产物SCOAs的影响,同时全面考察了发酵过程对总有机碳(TOC)、溶解性蛋白质、溶解性多糖等关键指标的变化规律,旨在阐明接种比与关键参数之间的关系,进而确定最优接种比,以提高餐厨垃圾高效产SCOAs的性能。

2 实验部分

2.1 实验原料

餐厨垃圾取自某大学食堂,经除杂、破碎、淋洗除油等预处理后,放入4℃冰箱备用。接种污泥取自常州维尔利餐厨废弃物处理有限公司厌氧发酵罐出料口,经高压灭菌锅灭活产甲烷菌后常温放置。餐厨垃圾与接种污泥的总固体(TS)含量分别为26.58%和4.51%,挥发性固体(VS)含量分别为95.12%和41.22%。

2.2 实验装置与方案

在本研究中,采用厌氧发酵瓶和恒温水浴锅作为厌氧发酵反应装置。厌氧发酵瓶为500mL的标准发酵瓶。餐厨垃圾与接种污泥基于TS=6%混合均匀,接种比分别为1:0(R0)、2:1(R1)、1:1(R2)、1:2(R3)。随后投料至发酵系统中,工作质量为350g,随后除氧、密封发酵瓶,维持37℃的发酵温度,发酵天数为8天。发酵期间定时取少量样品供相关指标检测。为避免实验结果的偶然性,每组实验设立三平行组。

2.3 检测分析方法与计算

TS、VS测定参考水和废水检查标准方法。pH检测通过实验室pH计测定;SCOAs检测采用气相色谱仪以及超高效液相色谱系统测定;TOC检测通过总有机碳分析仪测定;溶解性多糖的测定采用Dubios法;溶解性蛋白质的测定采用Lowry法。

3 结果与讨论

3.1 接种比对发酵系统pH的影响

不同接种比对发酵系统pH的影响如图1(a)所示,R1、R2和R3的初始pH值高于9.0,属于碱性环境,有利于餐厨垃圾产酸效率及产率的提升;而R0的初始pH值为5.64,属于酸性环境,不利于提高发酵产酸的效率。后期阶段,接种组的pH环境处于中性附近,而R0的pH环境稳定在3.7附近,该酸性环境不适宜微生物的生长和产酸活动。

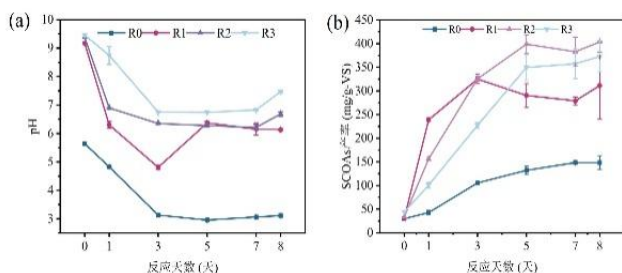


图1 发酵系统pH、SCOAs产率变化情况

3.2 接种比对发酵系统SCOAs产率的影响

不同接种组的SCOAs产率如图1(b)所示。各组的产酸率均在初期快速增长,随后趋势变缓,R0的SCOAs产率始终处于较低水平。其中R1组在较快的时间内达到产酸峰值,而R2和R3的产酸进程相对滞后。反应结束后,接种组的SCOAs产率明显高于R0,R1、R2和R3的最大产酸率分别为325.12、403.71和372.90mg/g-VS,是R0的2.19、2.72和2.51倍。值得注意的是,R2的产酸率高于R1与R3,说明系统底物含量丰富,接种物含量相对较少时,易造成底物利用不足的现象;而系统底物相对较少,接种物较多时,则又会造成微生物的竞争。两者均不利于优化产酸效率,适当地引

入接种物,有利于提高产酸效率。

3.3 接种比对发酵系统SCOAs组分的影响

如图2所示,反应启动时各组均以乳酸和乙酸两种组分为主。乳酸和乙酸分别约占总SCOAs的68%~71%和21%~27%。在发酵前3天内,R0中乳酸有所上升,乙酸有所下降,这可能与餐厨垃圾中碳水化合物含量丰富有关,其水解产物适宜作为产乳酸的碳源;R1中乳酸和乙酸的变化不大;而R2和R3中乳酸逐渐下降,乙酸、丙酸逐渐上升。反应后期时,R0中乳酸占总SCOAs的72%~91%,依然定为乳酸型发酵;R1中乳酸显著减少,占总SCOAs的2%~7%,乙酸、丙酸分别约占总SCOAs的24%~26%、2%~7%和21%~52%,而丁酸则占比的59%~69%,可判定为丁酸型发酵。R2和R3中乳酸几乎消失,丁酸和丙酸总计占比25%左右,而乙酸则占比70%以上,可判定为乙酸型发酵。

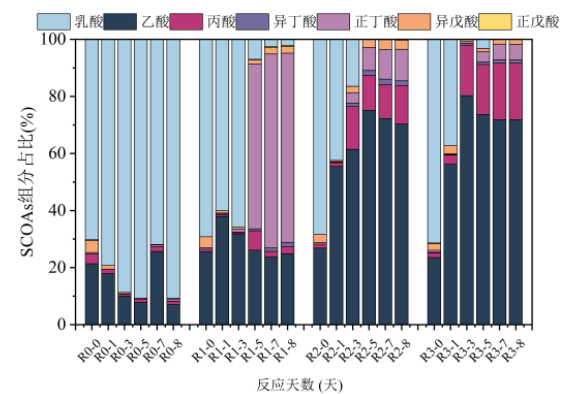


图2 发酵系统的SCOAs组成成分变化

3.4 接种比对发酵系统TOC释放的影响

发酵液中的TOC可在一定程度上反映发酵液中有有机物含量变化^[3]。如图3,由于厌氧发酵过程中有机物降解和有机酸产生,将导致TOC浓度呈现动态变化。由图可知,发酵前期,TOC浓度呈现下降趋势,主要由于碳水化合物经水解生成单糖,被产酸菌利用转化为SCOAs及一定量的H₂、CO₂,这造成发酵液中TOC浓度的下降。发酵后期,难降解的有机质逐渐被降解为可溶性有机质以及SCOAs的持续积累,导致TOC浓度上升。

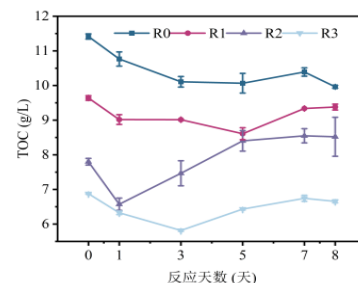


图3 发酵系统TOC浓度变化

3.5 接种比对发酵系统溶解性蛋白质与多糖的影响

图4(a)为发酵系统中溶解性蛋白质的变化,随着餐厨垃圾比例的减少,初始阶段溶解性蛋白含量持续增加,这是因为溶解

性蛋白主要来源于接种污泥。随着反应的进行,蛋白质被降解转化为SCOAs等物质,反应结束时其浓度下降。有研究表明,蛋白质的降解酸化是餐厨垃圾厌氧发酵产酸的限速因素。如图6(b)初始阶段溶解性多糖浓度随着餐厨垃圾比例的减少而降低,这主要是由于餐厨垃圾易水解生成多糖类物质^[4]。反应结束后,添加接种污泥的反应组可溶性多糖达到较低值,这说明接种污泥能够促进多糖降解转化为SCOAs。

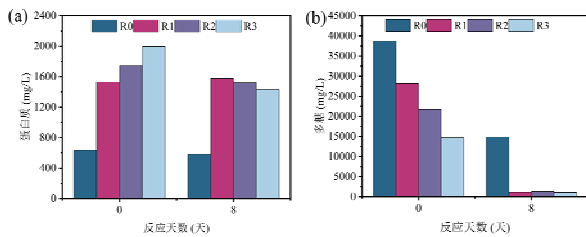


图4 发酵系统蛋白质、多糖浓度变化

4 结论

本研究系统考察不同接种比对餐厨垃圾厌氧发酵产有机酸的影响,得出以下主要结论:

(1) 与单一餐厨垃圾发酵(R0)相比,添加接种污泥(R1, R2, R3)能有效调节系统pH至中性范围,克服了R0导致的强酸性抑制环境,为高效产酸过程创造条件。

(2) R2在SCOAs产率上表现最优,达到403.71mg/g-VS,显著高于其他组,其产酸类型为乙酸型发酵。

(3) 发酵过程中TOC浓度、溶解性蛋白质和多糖浓度的变化情况,表明接种污泥可促进复杂有机组分的降解,并将其转化为SCOAs。

[参考文献]

[1] Zhao J, Zhang C, Wang D, et al. Revealing the Underlying Mechanisms of How Sodium Chloride Affects Short-Chain Fatty Acid Production from the Cofermentation of Waste Activated Sludge and Food Waste[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2016, 4(9): 4675-4684.

[2] 张达, 林青山, 崔鹏, 等. 餐厨垃圾-剩余污泥物料配比对厌氧共发酵产挥发性脂肪酸的影响[J]. 环境工程, 2024, 42(08): 125-133.

[3] 张双, 周集体. 高盐有机化工废水中COD与TOC的相关性[J]. 化工环保, 2018, 38(1): 122-126.

[4] 高明, 项娟, 张笑, 等. 污泥接种比例对餐厨垃圾糖化残渣厌氧消化的影响[J]. 环境卫生工程, 2021, 29(04): 22-28.

作者简介:

蔡鑫(1989--), 男, 汉族, 江苏盐城人, 硕士, 工程师, 主要从事环境管理。

*通讯作者:

张炯杰(1999--), 男, 汉族, 江苏连云港人, 硕士, 助理工程师, 主要从事有机固废资源化利用。