

厨余垃圾渗滤液作为低碳氮比废水处理外加碳源的脱氮性能研究

马冬杰, 张现海, 吴盛阳, 刘思洋, 张德慧, 吴启凡, 王慧超

安徽浩悦再生资源利用有限责任公司, 安徽 合肥

收稿日期: 2023年9月13日; 录用日期: 2023年10月13日; 发布日期: 2023年10月23日

摘要

厨余垃圾渗滤液有机物含量高, 可生化性强, 将厨余垃圾渗滤液与传统碳源甲醇、乙酸钠的反硝化性能进行对比, 结果表明: 当COD/TN = 6时, 反硝化速率厨余垃圾渗滤液 > 乙酸钠 > 甲醇, 分别为18.77 mg NO₃⁻-N / (gVSS·h)、15.84 mg NO₃⁻-N / (gVSS·h)、9.09 mg NO₃⁻-N / (gVSS·h); 总氮去除率厨余垃圾渗滤液 > 乙酸钠 > 甲醇, 分别为91.72%、90.98%、75.18%; 将厨余垃圾渗滤液作为外加碳源实际应用到某有机资源处理中心废水处理中, 废水处理工艺的生化系统运行稳定。

关键词

厨余垃圾渗滤液, 碳源, 反硝化速率, 脱氮效率

Study on Nitrogen Removal Performance of Kitchen Waste Leachate as an External Carbon Source for Low Carbon Nitrogen Ratio Wastewater Treatment

Dongjie Ma, Xianhai Zhang, Shengyang Wu, Siyang Liu, Dehui Zhang, Qifan Wu, Huichao Wang

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

Received: Sep. 13th, 2023; accepted: Oct. 13th, 2023; published: Oct. 23rd, 2023

文章引用: 马冬杰, 张现海, 吴盛阳, 刘思洋, 张德慧, 吴启凡, 王慧超. 厨余垃圾渗滤液作为低碳氮比废水处理外加碳源的脱氮性能研究[J]. 水污染及处理, 2023, 11(4): 115-124. DOI: 10.12677/wpt.2023.114015

Abstract

The kitchen waste leachate contains high organic matter, and its biodegradability is strong. Collaborative treatment of low carbon nitrogen ratio wastewater through kitchen waste leachate can not only reduce the cost of wastewater treatment, but also realize waste treatment by waste. Aiming at the research on the nitrogen removal performance of kitchen waste leachate as an external carbon source for low carbon ratio wastewater treatment, the denitrification effect of kitchen waste leachate with traditional carbon sources methanol and sodium acetate was compared under different COD/TN conditions. The results showed that: When COD/TN = 6, the order of the denitrification rate is: kitchen waste leachate: 18.77 mg NO₃⁻-N / (gVSS·h) > sodium acetate: 15.84 mg NO₃⁻-N / (gVSS·h) > methanol: 9.09 mg NO₃⁻-N / (gVSS·h); the order of total nitrogen removal rates is: kitchen waste leachate: 91.72% > sodium acetate: 90.98% > methanol: 75.18%. The kitchen waste leachate was actually applied to the wastewater treatment of an organic resource treatment center as an external carbon source, and the biochemical system of the wastewater treatment process operated stably.

Keywords

Kitchen Waste Leachate, Carbon Source, Denitrification Rate, Nitrogen Removal Efficiency

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. 引言

随着我国污水处理厂总氮排放标准的提高，低碳氮比废水在反硝化过程中存在的问题日益显露，低碳氮比废水如不外加碳源会造成外排水超标[1] [2]。低碳氮比废水常采用生化法处理，由于废水碳氮比低，在处理过程中需要投加大量的碳源供反硝化脱氮，污水处理成本大幅增加[3]，而高昂的碳源成本[4] [5]成为污水处理运营不得不面对的问题，寻找一种经济可行、安全可靠的外加碳源是非常有必要的[6]。

厨余垃圾在堆积过程中会产生大量的厨余垃圾渗滤液，这些厨余垃圾渗滤液的处理一直是国内外学者研究的重点[7] [8]，有研究表明[9]，厨余垃圾渗滤液中含有大量的挥发性脂肪酸(VFAs) [10]、乳酸等易降解的有机物[11]，其具有很高的碳氮比，具备作为污水处理碳源的潜力[12]。目前，国内外也有对于厨余垃圾渗滤液作为废水处理外加碳源进行反硝化脱氮的研究[13] [14]，利用厨余垃圾渗滤液具有大量可降解有机物的特点，增强低碳氮比废水的反硝化脱氮能力，提高反硝化速率，但能否用于实际污水处理中仍有待探究。

本文实验通过控制不同的 COD/TN，探究甲醇、乙酸钠、厨余垃圾渗滤液作为外加碳源处理低碳氮比废水的脱氮效果，同时结合生产将某有机资源处理中心厨余垃圾料坑内的垃圾渗滤液泵入污水处理系统，为厨余垃圾渗滤作为碳源应用到实际生产中提供依据。

2. 厨余渗滤液与传统碳源脱氮效果对比的小试实验

2.1. 实验材料

本次实验采用的原水为某有机资源处理中心污水系统调节池及二级硝化池水样，其水质指标如表 1、

表 2 所示。

Table 1. Indicators of regulating tank
表 1. 调节池指标

指标(mg/L)	COD	TN	NH ₃ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP
检测数值	2200 ± 200	1800 ± 200	1700 ± 200	5 ± 2	<1	28 ± 5

Table 2. Indicators of secondary nitrification tank
表 2. 二级硝化池指标

指标(mg/L)	COD	TN	NH ₃ -N	NO ₃ ⁻ -N
检测数值	670 ± 20	80 ± 10	≤0.5	40 ± 5

实验采用的厨余垃圾渗滤液为某有机资源处理中心厨余垃圾料坑内渗滤液，甲醇为工业级甲醇溶液，乙酸钠为工业级乙酸钠固体。其各项指标如表 3 所示。

Table 3. Indicators of kitchen waste leachate, methanol, and sodium acetate
表 3. 厨余垃圾渗滤液、甲醇、乙酸钠指标

碳源	COD (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)
厨余垃圾渗滤液	42,000 ± 500	1500 ± 200	600 ± 100
甲醇	620,000	10	<0.1
乙酸钠	38,500	10	<0.1

2.2. 实验装置

本次实验分 3 组池体进行，池体均为透明亚克力板制作，容积为 200 L，配备有 pH 计、溶解氧探头及搅拌装置，两侧配置进水口及出水口，实验装置如图 1 所示。

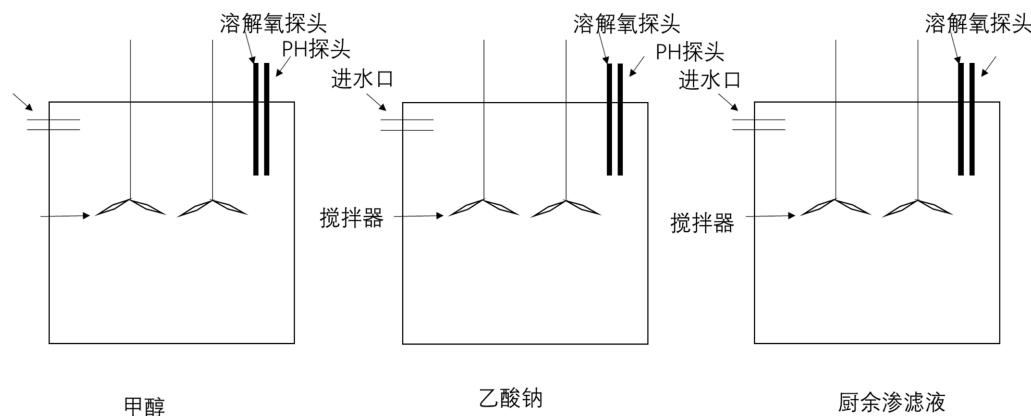


Figure 1. Experimental setup diagram
图 1. 实验装置图

模拟实验装置为按照一定比例缩放的某有机资源处理中心污水生化系统，由 4 组相通的池体组合构成，均为透明亚克力板制作，配备有 pH 计、溶解氧探头、搅拌装置、曝气装置、进水泵、回流泵等。模拟装置如图 2 所示。

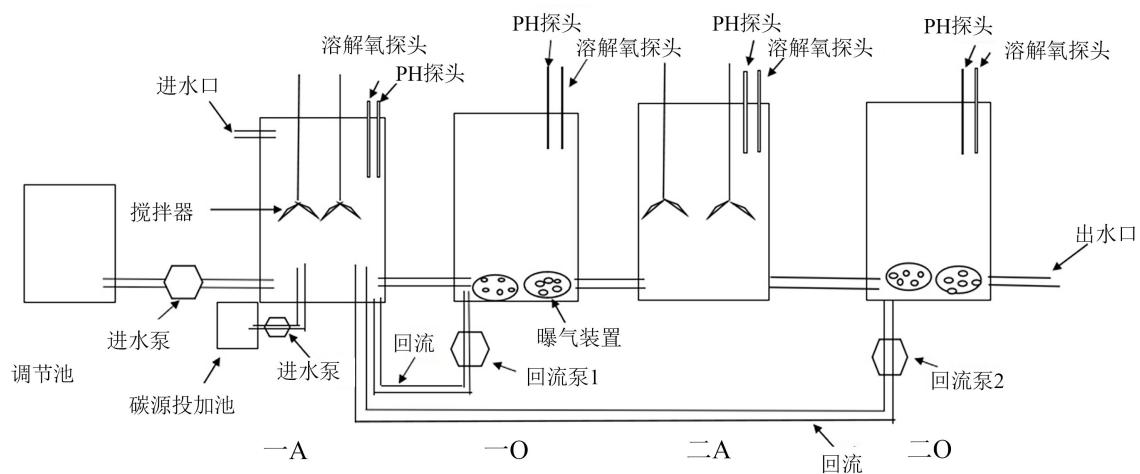


Figure 2. Simulation experiment setup diagram
图 2. 模拟实验装置图

2.3. 实验方法

1) 将调节池水样及二级硝化池水样按一定比例混合后，开启曝气装置，曝气约 24 h，使硝化菌种在好氧环境中将氨氮全部转化为硝态氮(氨氮 < 1 mg/L)，曝气后水样指标如表 4 所示。

Table 4. Indicators of water sample

表 4. 水样指标

检测指标	COD (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)
检测数值	670 ± 20	270 ± 20	0.5 ± 0.5	210 ± 20

2) 将厨余垃圾渗滤液絮凝后用板框压滤机进行压滤，压滤后清液指标如表 3 所示。配制相同 COD 浓度的甲醇、乙酸钠、厨余垃圾渗滤液溶液作为碳源备用。

3) 实验按不同 COD/TN 分 3 组进行(5:1、6:1、7:1)，校准所有探头后，将步骤 1 水样注入 3 组实验装置，并分别一次性投入相同体积的步骤 2) 中的厨余垃圾渗滤液、乙酸钠、甲醇溶液，投入后开启搅拌装置进行缺氧反应。反应在缺氧环境中进行，温度为环境温度(15~25℃)，池内污泥浓度维持在 13 g/L 左右。反应后 0.5 h、0.5 h、1 h、2 h……取样，并快速测定样品的 COD、TN、NH₃-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 指标。

4) 实验按 COD/TN = 6 进行，校准所有探头后，将某有机资源处理中心污水系统各个工艺段的水样分别加入到模拟系统对应池内，以调节池水样为进水，在碳源投加池投入厨余垃圾渗滤液，开启曝气装置，搅拌装置，回流泵，进水泵后，设备正常运行。实验中 A 池为反硝化池，为缺氧环境，溶解氧在 0.5 mg/L 以下；O 池为硝化池，为好氧环境，溶解氧在 3~5 mg/L，温度为环境温度(15~25℃)，池体污泥浓度控制在 13 g/L 左右。实验过程中，对各模拟系统生化池内的探头定时标定校准，确保各实验组溶氧环境稳定，溶氧稳定是各级反应的前提。系统正常运行后，持续 7 天，每天检测二级 O 出水的 COD、TN、NH₃-N、NO₃⁻-N。

2.4. 分析检测方法

本次实验执行标准为中华人民共和国城镇建设行业标准 CJ/T 221-2005，实验主要仪器包括泰斯特 WGL-1258 电热鼓风干燥箱、卢湘仪 RD-60TZ 高速离心机、哈希 DRB 200 快速消解器、哈希 DR-6000 分光光度计，具体实验原理及步骤如表 5 所示。

Table 5. Detection principles and steps**表 5. 检测原理及步骤**

检测指标	实验原理	实验步骤
MLSS MLVSS	重量法	取定量样品于滤纸过滤, 过滤结束后烘干处理, 采用差值法计算。
COD	重铬酸钾法	取 2 mL 上清液于哈希 COD 消解管中, 165°C 下消解 30 min, 降温后在哈希 DR-6000 分光光度计中读数。
NH ₃ -N	分光光度法	取 0.1 mL 上清液于哈希氨氮消解管中, 依次加入水杨酸及氯尿酸试剂包后摇匀, 反应 20 分钟后在哈希 DR-6000 分光光度计中读数。
TN	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	取 0.5 mL 上清液于哈希总氮碱消解管中, 加入过硫酸钾, 105°C 30 分钟, 消解结束后, 降温后加入偏亚硫酸氢钠, 取 2 mL 消解管清液加入总氮酸试剂摇匀, 5 分钟后在哈希 DR-6000 分光光度计中读数。
NO ₃ -N	紫外分光光度法	取 1 mL 上清液于哈希硝态氮消解管中, 加入硝酸盐试剂包, 摆匀, 5 分钟后在哈希 DR-6000 分光光度计中读数。
NO ₂ -N	分光光度法	取 5 mL 上清液于哈希亚硝态氮消解管中, 摆匀, 20 分钟后在哈希 DR-6000 分光光度计中读数。

分析方法

1) 反硝化速率(SDNR)的测定: 通过检测各时间段 NO₃⁻-N 及 NO₂⁻-N 的浓度, 以 $\rho(\text{NO}_x\text{-N}) = \rho(\text{NO}_3\text{-N} + 0.6\text{NO}_2\text{-N})$ 表示反应器中剩余总氮的浓度, 同时其他中间产物和亚硝态氮在测定过程中忽略不计, 从而得出 SDNR, 计算公式如下[11]:

$$\text{SDNR} = \frac{d(\rho\text{NO}_X\text{-N})}{X_v \times dt} \quad (1)$$

X_v —MLVSS

2) 总氮去除率的测定: 通过计算实验前后水样的 TN 变化指标得出。具体公式如下:

$$\text{TN去除率} = \frac{\text{反应前水样TN} - \text{反应后水样TN}}{\text{反应前水样TN}} \quad (2)$$

3. 结果分析与讨论

3.1. 碳源反硝化速率比较

表 6 为甲醇、乙酸钠、厨余垃圾渗滤液作为碳源时反硝化相同浓度的硝态氮的反应时间和速率。

图 3 为甲醇、乙酸钠、厨余垃圾渗滤液在 COD/TN = 5 时硝态氮的去除曲线。由图可知, 反硝化速率: 乙酸钠 > 厨余垃圾渗滤液 > 甲醇, 分别为 19.36 mg NO₃⁻-N/(gVSS·h)、15.17 mg NO₃⁻-N/(gVSS·h)、7.14 mg NO₃⁻-N/(gVSS·h), 速度计算以硝态氮降低至稳定不变的时间点为准, 乙酸钠、厨余垃圾渗滤液、甲醇反应时间分别是 11 h、13 h、25 h。

图 4 为在 COD/TN = 6 时硝态氮的去除曲线。由图可知, 反硝化速率: 厨余垃圾渗滤液 > 乙酸钠 > 甲醇, 分别为 18.77 mg NO₃⁻-N/(gVSS·h)、15.84 mg NO₃⁻-N/(gVSS·h)、9.09 mg NO₃⁻-N/(gVSS·h), 反应时间分别为 13 h、13 h、21 h。

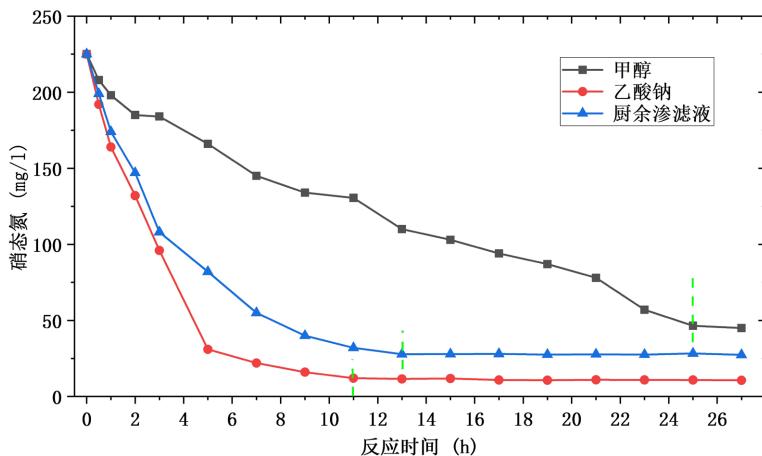
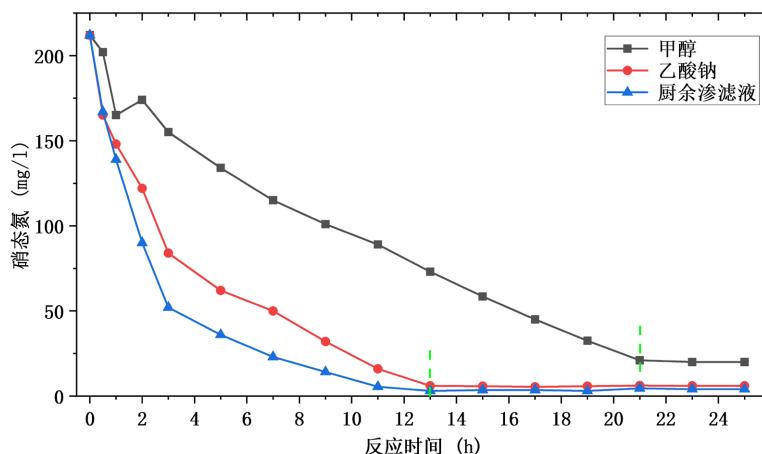
图 5 为在 COD/TN = 7 时硝态氮的去除曲线。由图可知, 反硝化速率: 厨余垃圾渗滤液 > 乙酸钠 > 甲醇, 分别为 23.44 mg NO₃⁻-N/(gVSS·h)、16.23 mg NO₃⁻-N/(gVSS·h)、9.21 mg NO₃⁻-N/(gVSS·h)。反应时间分别为 13 h、13 h、23 h。

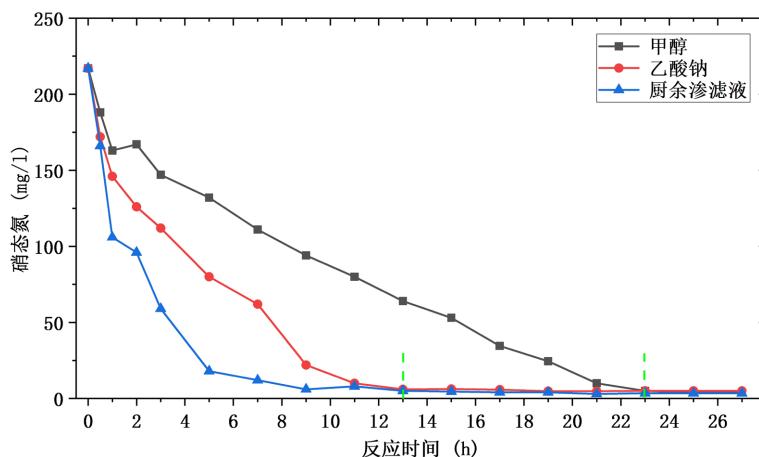
由图 3、图 4、图 5 知, 甲醇作为外加碳源时其反硝化速率最低, 根据 Xu [15] 的报道, 原因可能为

反硝化最先利用的是乙酸等 VFA，而甲醇被利用需要先转化成对应的 VFA，故甲醇反硝化速度较慢；图 3 中厨余垃圾渗滤液在 COD/TN = 5:1 时反硝化速率比乙酸钠慢，原因可能为厨余垃圾渗滤液本身包含一部分硝态氮，影响了反硝化速率的检测准确性；由图 4、图 5 可知，在 COD/TN 提高后，厨余垃圾渗滤液反硝化速率最快，原因可能为厨余垃圾渗滤液成分较多，有可溶性碳水化合物、挥发性脂肪酸、醇类、蛋白质等组成，单一组分的物质反硝化速率要低于混合物[16]，所以当厨余垃圾渗滤液作为反硝化碳源时，可以同时利用降解以上物质，实现多种反硝化微生物协同作用共同脱氮的效果[11]。

Table 6. Carbon source reaction time and ratio**表 6.** 碳源反应时间和速率

COD/TN	反应时间 h	甲醇		乙酸钠		厨余垃圾渗滤液	
		反硝化速率 mg NO ₃ ⁻ -N / (gVSS·h)	反应时间 h	反硝化速率 mg NO ₃ ⁻ -N / (gVSS·h)	反应时间 h	反硝化速率 mg NO ₃ ⁻ -N / (gVSS·h)	反应时间 h
5:1	25	7.14	11	19.36	13	15.17	
6:1	21	9.09	13	15.84	13	18.77	
7:1	23	9.21	13	16.23	13	23.44	

**Figure 3.** Nitrate removal curve of different carbon sources when COD/TN = 5:1
图 3. COD/TN = 5:1 时不同碳源的硝态氮去除曲线**Figure 4.** Nitrate removal curve of different carbon sources when COD/TN = 6:1
图 4. COD/TN = 6:1 时不同碳源的硝态氮去除曲线

**Figure 5.** Nitrate removal curve of different carbon sources when COD/TN = 7:1**图 5.** COD/TN = 7:1 时不同碳源的硝态氮去除曲线

3.2. 不同碳源的使用对总氮去除率的影响

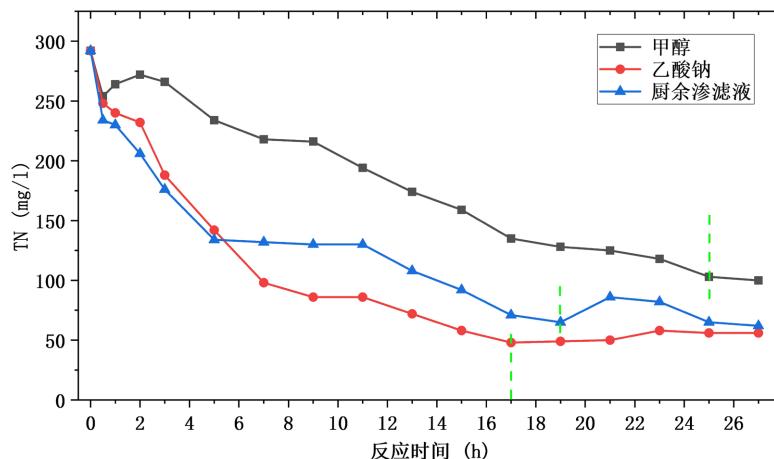
图 6、图 7、图 8 分别为 COD/TN = 5:1、6:1、7:1 时甲醇、乙酸钠、厨余垃圾渗滤液的 TN 去除曲线。

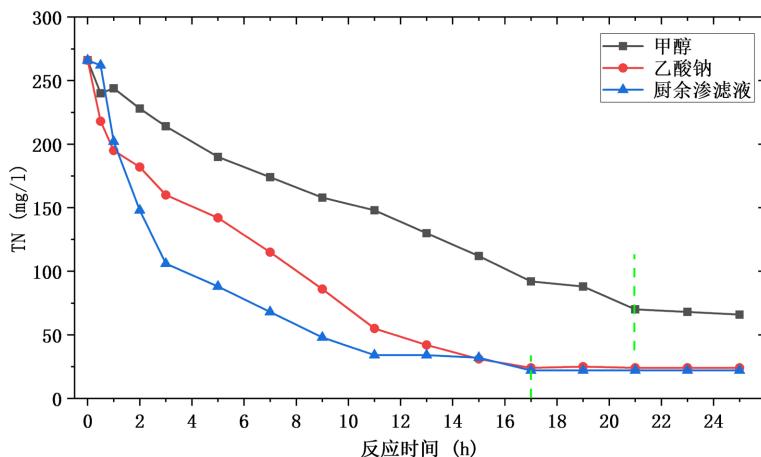
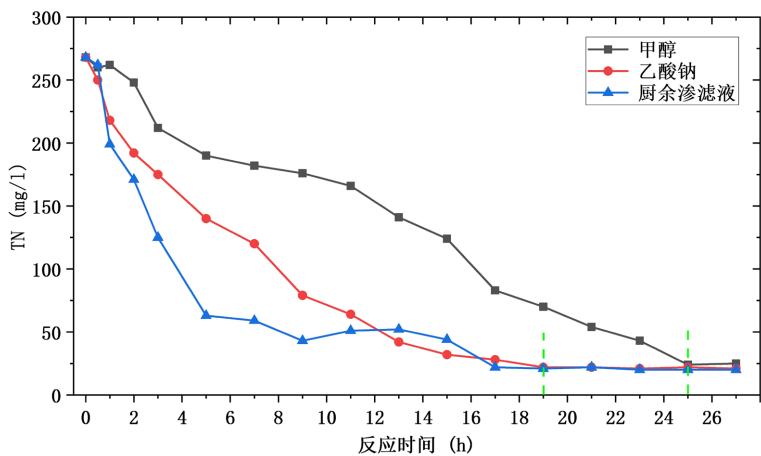
当 COD/TN = 5:1 时，总氮去除率为：乙酸钠 > 厨余垃圾渗滤液 > 甲醇，其去除率分别为 80.82%、78.76%、65.75%。由于碳源投加量不足，反硝化反应受阻，各池内水样硝态氮均未反应完全，导致各碳源总氮去除率均偏低。

当 COD/TN = 6:1 时，总氮去除率为：厨余垃圾渗滤液 > 乙酸钠 > 甲醇，其去除率分别为 91.72%、90.98%、75.18%。厨余垃圾渗滤、乙酸钠实验组均未检测到硝态氮。

当 COD/TN = 7:1 时，总氮去除率为：厨余垃圾渗滤液 > 乙酸钠 > 甲醇，其去除率分别为 92.54%、92.16%、90.67%。三个实验组均未检测到硝态氮。

由此可知，甲醇作为碳源只有在 COD/TN 为 7 时，才能将有机废水中所有硝态氮反应完全，证明了反硝化菌种对甲醇型碳源吸收利用率低；厨余垃圾渗滤液在 COD/TN = 6、7 时，TN 去除率最高，证明了厨余垃圾渗滤液利用率高，但当 COD/TN = 5:1 时，厨余垃圾渗滤液自身带有的部分 TN 导致原配水的 TN 未能完全去除，因此在利用厨余垃圾渗滤液作碳源时，以 COD/TN 计算碳源投加量时需计算其自身的 TN。

**Figure 6.** Total nitrogen removal curve of different carbon sources when COD/TN = 5:1**图 6.** COD/TN = 5:1 时不同碳源的总氮去除曲线

**Figure 7.** Total nitrogen removal curve of different carbon sources when COD/TN = 6:1**图 7.** COD/TN = 6:1 时不同碳源的总氮去除曲线**Figure 8.** Total nitrogen removal curve of different carbon sources when COD/TN = 7:1**图 8.** COD/TN = 7:1 时不同碳源的总氮去除曲线

3.3. 厨余垃圾渗滤液作为外加碳源的连续型中试

调节池为需要处理的低碳氮比废水，二级 O 出水为污水处理模拟装置处理后的产水。

由表 7 可知，在投加厨余垃圾渗滤液作为碳源后，模拟系统二级 O 出水的 COD、总氮保持稳定，COD 去除率在 82~86% 之间，总氮去除率在 94~95% 之间，模拟装置的生化系统运行稳定。

Table 7. Regulating tank water sample and secondary O effluent indicators**表 7.** 调节池水样及二级 O 出水指标

日期	调节池		二级 O	
	COD (mg/L)	TN (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)
11.14	2300	1560	267	93
11.15	2425	1600	285	84
11.16	2215	1500	298	80
11.17	2465	1650	301	74

Continued

11.18	2365	1700	287	82
11.19	2300	1650	279	93
11.20	2400	1560	285	86

4. 工程应用

完成上述实验后，将部分厨余垃圾渗滤液投入到某有机资源处理中心污水系统，用于实际生产，某有机资源处理中心污水处理工艺为：预处理 + 两级 A/O + 超滤(UF) + 芬顿高级氧化系统 + 曝气生物滤池 BAF，出水水质满足某污水处理厂的接管要求。工艺系统流程如图 9 所示。调节池(待处理的低碳氮比废水)以及超滤产水(生化处理后的出水)数据如表 8 所示，COD 去除率在 95~98%，总氮去除率在 94~97%，证明厨余垃圾渗滤液作为低碳氮比废水处理外加碳源可用于实际生产。

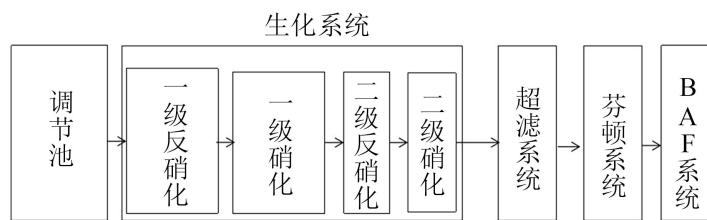


Figure 9. Flow chart of sewage treatment system

图 9. 污水处理系统流程图

Table 8. Indicators of regulating tank water sample and ultrafiltration water production

表 8. 调节池水样及超滤产水指标

项目	调节池		超滤产水	
	日期	COD(mg/L)	TN(mg/L)	COD (mg/L)
11.14 (与上同)		3080	1450	146
11.15		3175	1400	144
11.16		3200	1500	128
11.17		3710	1600	132
11.18		3515	1550	163
11.19		3270	1600	134
11.20		4500	1650	137
11.21		4620	1700	150
11.22		4870	1750	155
11.23		4165	1650	168

5. 结论

- 1) 在合适的 COD/TN 下，反硝化菌种对厨余垃圾渗滤液的利用率最高，其反硝化速率及总氮去除率均高于传统碳源(甲醇、乙酸钠)，是一种优质的传统碳源替代品。
- 2) 厨余垃圾渗滤液组成成分复杂，有机质含量高，易于被反硝化菌种利用。

3) 厨余垃圾渗滤液可作为反硝化碳源应用到实际污水处理中,但应用过程中应考虑厨余垃圾渗滤液自身携带的总氮对污水处理过程的影响。

参考文献

- [1] 熊建军. 餐厨垃圾厌氧发酵制备污水处理外加碳源及其反硝化性能评价[D]: [硕士学位论文]. 邯郸: 河北工程大学, 2021.
- [2] 姚凤根, 朱水元, 孙雨清, 等. 餐厨(厨余)垃圾碳源化技术及应用研究[J]. 环境卫生工程, 2018, 26(2): 22-25.
- [3] 段文雪, 李龙国, 刘超, 等. 泥炭作为缓释碳源对反硝化过程的影响[J]. 环境污染与防治, 2020, 42(4): 457-460.
- [4] Lim, S.J., Ahn, Y.H., Kim, E.Y. and Chang, H.N. (2006) Nitrate Removal in a Packed Bed Reactor Using Volatile Fatty Acids from Anaerobic Acidogenesis of Food Wastes. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, **11**, 538-543. <https://doi.org/10.1007/BF02932080>
- [5] Shrimali, M. and Singh, K.P. (2001) New Methods of Nitrate Removal from Water. *Environmental Pollution*, **112**, 351-359. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00147-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00147-0)
- [6] Fernández-Nava, Y., Marañón, E., Soons, J. and Castrillón, L. (2010) Denitrification of High Nitrate Concentration Wastewater Using Alternative Carbon Sources. *Journal of Hazardous Materials*, **173**, 682-688. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.140>
- [7] Mandal, P., Dubey, B.K. and Gupta, A.K. (2017) Review on Landfill Leachate Treatment by Electrochemical Oxidation: Drawbacks, Challenges and Future Scope. *Waste Management*, **69**, 250-273. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.034>
- [8] Renous, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F. and Moulin, P. (2008) Landfill Leachate Treatment: Review and Opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, **150**, 468-493. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>
- [9] 唐嘉陵, 王晓昌, 夏四清. 厨余发酵液作为中试 A/O-MBR 外增碳源的脱氮特性[J]. 中国环境科学, 2015, 35(10): 3018-3025.
- [10] Kim, M., Gomec, C.Y., Ahn, Y. and Speece, R.E. (2003) Hydrolysis and Acidogenesis of Particulate Organic Material in Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion. *Environmental Technology*, **24**, 1183-1190. <https://doi.org/10.1080/09593330309385659>
- [11] 石舟翔, 杨建红, 刘康齐, 等. 厨余发酵液作为外增碳源对微污染河水脱氮效果的影响[J]. 中国沼气, 2020, 38(6): 62-68.
- [12] 梁曼丽, 袁维波, 敖冬, 等. 餐厨垃圾制备高性能反硝化碳源的厌氧发酵条件优化[J]. 环境卫生工程, 2022, 30(5): 60-66.
- [13] Lim, S.J., Kim, E.Y., Ahn, Y.H. and Chang, H.-N. (2008) Biological Nutrient Removal with Volatile Fatty Acids from Food Wastes in Sequencing Batchreactor. *Korean Journal of Chemical Engineering*, **25**, 129-133. <https://doi.org/10.1007/s11814-008-0023-4>
- [14] 张仲玲. 反硝化脱氮外加碳源的选择[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [15] Xu, Y.T. (1996) Volatile Fatty Acids Carbon Source for Biological Denitrification. *Journal of Environmental Sciences*, **8**, 257-268.
- [16] Sage, M., Daufin, G. and Guizhou, G. (2006) Denitrification Potential and Rates of Complex Carbon Source from Dairy Effluents in Activated Sludge System. *Water Research*, **40**, 2747-2755. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.04.005>