

# SRT对剩余污泥厌氧发酵产酸的影响研究

章涛, 黄天寅, 刘锋, 吴玮, 冯延申  
(苏州科技大学 环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215000)

**摘要:** 城市污泥厌氧发酵产生短链挥发性脂肪酸是实现污泥减量化、无害化和资源化的重要途径。在中温( $35 \pm 1$ ) °C条件下, 不对pH值进行调控, 考察了SRT在6、8、10、13 d时, 剩余污泥厌氧发酵过程中SCOD、TOC及VFAs的水解溶出情况及变化规律。结果表明, SRT对污泥水解酸化具有重要影响, 一定范围内延长SRT有利于污泥的水解, 提高了VFAs的产量。SRT为10 d时可以获得较高的产酸量, 产酸率达到0.36 gVFAs/gVS。改变SRT, VFAs的组分也随之发生变化。

**关键词:** 剩余污泥; 厌氧发酵; SRT; 挥发性脂肪酸

**中图分类号:** X705 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)05-0116-04

## Effects of SRT on Acid Production during Anaerobic Digestion of Sewage Sludge

ZHANG Tao, HUANG Tian-yin, LIU Feng, WU Wei, FENG Yan-shen  
(School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology,  
Suzhou 215000, China)

**Abstract:** The production of short chain volatile fatty acid (VFAs) from domestic sewage sludge anaerobic digestion is an important way to achieve the volume reduction, harmlessness and reuse of sludge. In mesophilic digestion, without pH control, productions of SCOD, TOC and VFAs were investigated with sludge retention time (SRT) controlled at 6, 8, 10, and 13 days. Results showed significant effect of SRT on sludge hydrolysis and acidification. Increasing SRT within a certain range could improve the hydrolysis process and VFAs production. Maximum VFAs production was achieved with 10-d SRT, and acid production rate reached 0.36 gVFAs/gVS. Moreover, the composition of VFAs was found to be varying with different SRTs.

**Key words:** excess sludge; anaerobic digestion; sludge retention time; volatile fatty acids

剩余污泥厌氧水解产酸是污泥资源化利用的一条重要途径。污泥水解酸化产生的挥发性脂肪酸(VFAs)作为有机碳源,可以显著提高污水脱氮除磷效果<sup>[1]</sup>。提高剩余污泥的水解速率、VFAs产率以及控制VFAs组成,为污水脱氮除磷提供适宜的有机碳源,成为近年来的研究热点。污泥发酵产酸很大程度上受到污泥性质、运行参数(HRT、SRT等)、环境因素(温度、pH值等)、反应器构造、微量元素等的影响<sup>[2]</sup>。SRT是厌氧消化反应器运行控制的重要参数,表征微生物与底物的接触时间。微生物与底物的接触时间越长,就越有利于污泥水解,若SRT

过长,则会使产生的有机酸消耗,反而不利于VFAs累积<sup>[3]</sup>。控制适宜的SRT,既可以减少产酸发酵菌的流失,又能实现产酸发酵菌与产甲烷菌的分离,以获得较多的VFAs。基于此,笔者在中试条件下,研究了不同SRT对剩余污泥厌氧发酵的影响规律,进一步阐明不同SRT对污泥水解产酸的影响,旨在为后期实现VFAs稳定产生提供参数选取依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验装置与运行

中试装置(见图1)位于苏州市某污水厂内,直径为4 m,高为10 m,有效容积为125 m<sup>3</sup>,全碳钢结

构,内涂防腐油漆。反应装置不添加任何药剂,最终pH值稳定在7.0左右。试验阶段反应器内的温度为 $(35 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,通过控制每日进泥量,改变反应器剩余污泥的投配率而调控SRT。反应器由底部进泥,无排泥装置,部分浮泥随着上清液从上部排出。不回流时可以通过调节进泥量分别为9.6、12.5、15.6和20.8  $\text{m}^3/\text{d}$ ,控制投配率分别为7.68%、10%、12.48%和16.64%,以获得试验所需的SRT(分别为6、8、10、13 d),研究剩余污泥厌氧发酵过程中SCOD、TOC及VFAs的水解溶出情况及变化规律。

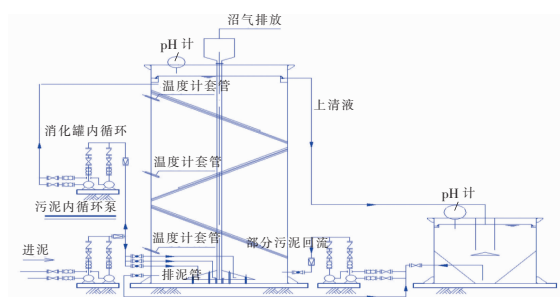


图1 中试装置

Fig. 1 Schematic diagram of pilot-scale experiment device

## 1.2 剩余污泥来源及特性

剩余污泥取自该污水厂的储泥池,其性质如下:pH值为6.62,TS为8~13 g/L、VS/TS为60.8%~65.1%、SCOD为68~110 mg/L、TOC为63.2~72.1 mg/L、蛋白质为6.0~7.2 g/L、碳水化合物为2.2~4.5 mg/L、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为2~10 mg/L、TN为18~21 mg/L、TP为5~10 mg/L。TOC、蛋白质、碳水化合物、TP、TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 均为溶解态。

## 1.3 分析项目及方法

SCOD:重铬酸钾法;TOC:岛津总有机碳分析仪;VFAs:GC-2014型岛津气相色谱仪,载气为氮气,检测器为FID,色谱柱为Rtx-5(30 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.25  $\mu\text{m}$ ),进样口和检测器的温度分别设定为220和250  $^\circ\text{C}$ ,色谱柱初温为85  $^\circ\text{C}$ ,采用二阶升温程序,分流进样,分流比为35:1,每次进样量为2.0  $\mu\text{L}$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 SRT对SCOD的影响

为了考察SRT对剩余污泥水解酸化的影响,研究了SRT分别为6(第1~15天)、8(第16~30天)、10(第31~45天)和13 d(第46~60天)时水解产酸系统的运行情况,对发酵产酸反应器中

SCOD的浓度变化进行了测定,结果如图2所示。可见,不同SRT下反应器内SCOD呈现不同的变化规律,SRT从6 d增至13 d过程中,系统的SCOD呈逐渐增大的趋势,说明水解酸化效果不断增强,这也说明控制系统的SRT对厌氧发酵系统的水解酸化具有重要影响。其中当SRT由10 d增至13 d时,系统中水解强度趋于稳定,SCOD的溶出量基本不变。

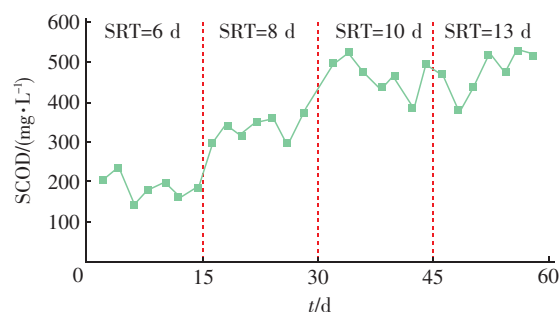


图2 不同SRT下反应器内SCOD的变化

Fig. 2 Change of SCOD in reactor under different SRTs

### 2.2 SRT对STOC的影响

试验还考察了不同SRT下STOC的变化。结果发现,与系统中SCOD的变化不同,STOC的变动范围较小,在SRT从6 d调整到13 d的过程中,STOC整体呈小幅增加,基本稳定在60~90 mg/L范围内。

STOC/SCOD值的变化也可以表征系统内有机物的变化,其变化趋势见图3。

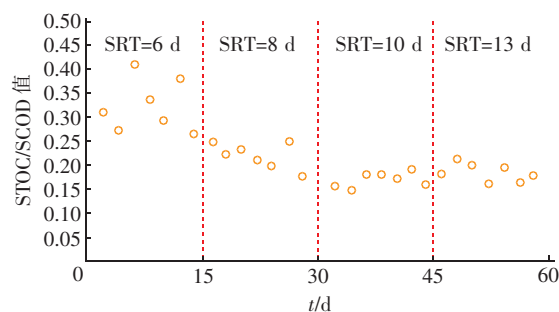


图3 不同SRT下STOC/SCOD值的变化

Fig. 3 Change of STOC/SCOD ratios under different SRTs

由图3可知,当SRT由6 d变为8 d时,反应系统内STOC/SCOD值呈降低趋势,由0.32左右降为0.22左右。说明系统内有机物的溶出速率较高,大于大分子有机物转化为小分子有机物的速率以及小分子有机物的消耗速率。

当SRT增加为10 d时,系统中STOC/SCOD值变化不大,维持在0.17左右,该阶段SCOD的溶出

速率与有机物的转化速率和消耗速率基本保持平衡。

当 SRT 为 13 d 时, STOC/SCOD 值较 SRT 为 10 d 时略高, 为 0.20 左右, 该阶段可能由于有机物的溶出量和转化量大于其小分子有机物的消耗量, 所以有机碳有一定的累积。

### 2.3 SRT 对 VFAs 的影响

图 4 显示了不同 SRT 条件下 VFAs 的产量及 VFAs/SCOD 值的变化情况。

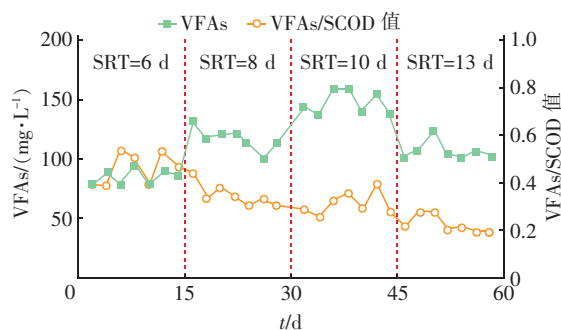


图 4 不同 SRT 下 VFAs 产量及 VFAs/SCOD 值的变化

Fig. 4 Change of VFAs content and VFAs/SCOD ratios under different SRTs

由图 4 可以看出, 随着 SRT 的增加, VFAs 产量整体呈先增后减的趋势, 并在 SRT 为 10 d 时 VFAs 产量达到最高, 稳定在 137.09 ~ 158.36 mg/L 范围内。

当 SRT 为 8 d 时, VFAs/SCOD 值不断下降, 这是由于该阶段 SCOD 的溶出速率大于 VFAs 的产生速率。当 SRT 为 10 d 时, VFAs/SCOD 值与 SRT 为 8 d 时相比出现了升高, 说明在该阶段系统中产酸菌已经成为优势菌群, 系统产酸效果稳定。当 SRT 为 13 d 时, VFAs 产量下降, 在 105 mg/L 左右, VFAs/SCOD 值也出现了下降, 说明过长的 SRT 使得反应系统中 VFAs 被消耗, 开始往产甲烷方向发展。

产酸率通常可作为污泥产酸发酵效果的一个重要评价指标, 其反映了反应器对剩余污泥的消化利用情况, 产酸率越高表明反应器的产酸效能越高。图 5 反映了不同 SRT 下中试系统中产酸率的变化情况。可以看出, 随着 SRT 的升高, 产酸率也不断升高。当 SRT 值较低时, 系统中水解酸化菌流失比较严重, 系统中较多的大分子有机物没有被转化, 产酸率较低。SRT 为 13 d 时的产酸率与 SRT 为 10 d 时 (0.36 gVFAs/gVS) 相比没有太大变化, 形成稳定

高效的产酸环境。

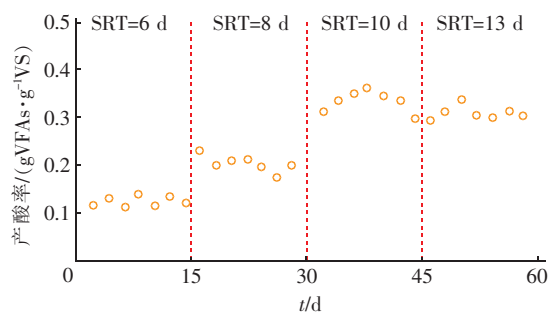


图 5 不同 SRT 下的产酸率变化情况

Fig. 5 Change of acid production rate under different SRTs

综合产酸量及产酸率的变化情况, 确定该反应系统具有最佳产酸效果的 SRT 为 10 d。

### 2.4 SRT 对 VFAs 组分的影响

图 6 是本试验过程中不同 SRT 下 VFAs 组分的变化情况。可以看出, 乙酸在 VFAs 中占主导地位, 不同 SRT 下其占比都在 40% 以上。当 SRT 继续延长至 13 d 时, 乙酸占比下降为 43.1%。这可能是由于出现了产甲烷反应, 而乙酸更易于被产甲烷菌利用。

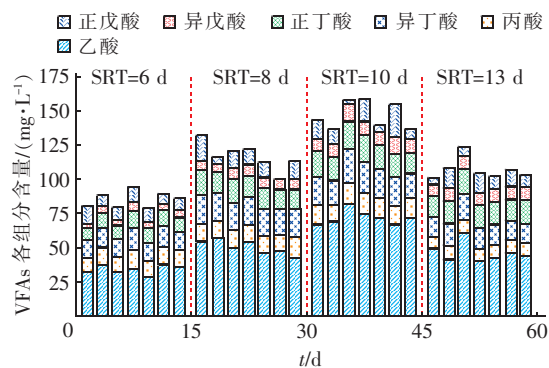


图 6 不同 SRT 下 VFAs 组分变化情况

Fig. 6 Change of VFAs component under different SRTs

异丁酸所占比例低于乙酸而高于其他酸, 但在 SRT 分别为 6、8、10、13 d 时其变化规律不是很明显。丙酸含量随着 SRT 的延长而下降, 这之前研究者的结论相同。丁酸 (异丁酸和正丁酸的总量) 和戊酸 (异戊酸和正戊酸的总量) 的占比基本不变, 分别稳定在 30%、15% 左右。

众多研究发现 SRT 对剩余污泥发酵产生 VFAs 的组分有一定影响。Elefsiniotis 等<sup>[4]</sup>的研究发现当 SRT 由 5 d 延长至 20 d 时, 初沉污泥厌氧发酵产有机酸中丙酸的含量随着 SRT 的增加而逐渐减少, 这可能是因为丙酸随 SRT 的增大而进一步被降解为



乙酸。此外,与直链有机酸相比,带支链的有机酸较难进一步转化为乙酸或其他小分子有机物,使得带支链的异丁酸、异戊酸的浓度超过没有支链的正丁酸、正戊酸。Feng 等<sup>[5]</sup>研究发现当 SRT 由 4 d 延长至 16 d 时,同长链脂肪酸相比,乙酸和丙酸的变化更大,乙酸含量由 32% 增至 42%,而丙酸含量由 24% 降至 14%,这与本研究的结论几乎一致。

### 3 结论

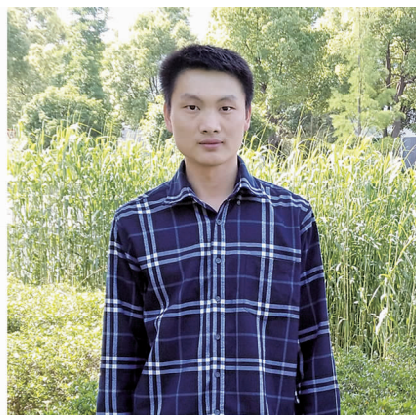
① 中试反应器中剩余污泥发酵产酸的最适 SRT 为 10 d,产酸率达到 0.36 gVFAs/gVS。

② SRT 对中温( $35 \pm 1$ ) °C 条件下剩余污泥厌氧水解酸化具有重要影响。一定范围内延长 SRT,SCOD 和 STOC 的含量均有所增加,会提高剩余污泥厌氧发酵过程中 VFAs 的产量。说明延长 SRT 有利于剩余污泥中固体有机物的水解,并促进小分子有机物转化为 VFAs。

③ 随着 SRT 的延长,VFAs 中的乙酸和丙酸变化较大,丁酸和戊酸的占比基本不变。

### 参考文献:

- [1] Chen Y G,Randall A A,Terrence M C. The efficiency of enhanced biological phosphorus removal from real wastewater affected by different ratios of acetic to propionic acid[J]. Water Res,2004,38(1):27-36.
- [2] 李美艳,官立红,马文瑾,等. 大型中温污泥厌氧消化系统的运行分析[J]. 中国给水排水,2015,31(21):16-19.
- [3] Xiong H L,Chen J L,Wang H,*et al.* Influences of volatile solid concentration, temperature and solid retention time for the hydrolysis of waste activated sludge to recover volatile fatty acids [J]. Bioresour Technol, 2012, 119 (17):285-292.
- [4] Elefsiniotis P, Oldham W K. Anaerobic acidogenesis of primary sludge: The role of solids retention time [J]. Biotechnol Bioeng, 1994, 44(1):7-13.
- [5] Feng L Y, Wang H, Chen Y G, *et al.* Effect of solids retention time and temperature on waste activated sludge hydrolysis and short-chain fatty acids accumulation under alkaline conditions in continuous-flow reactors [J]. Bioresour Technol, 2009, 100(1):44-49.



作者简介:章涛(1990-),男,河南信阳人,硕士研究生,研究方向为水污染治理。

E-mail:1047543743@qq.com

收稿日期:2016-08-12

