

污泥磷释放及vUCT-MBR原位磷回收技术研究

程翔*, 刘佳琪, 田靖宝

北京林业大学环境科学与工程学院



研究背景

污水处理中污泥的处理费用就占污水处理厂运行费用的60%。减少污泥的产量是现阶段的研究方向之一；剩余污泥中富含大量的磷（P）资源，将污泥中的进行回收是目前的研究方向之一。

1. 污泥厌氧消化可以实现污泥的减量化、无害化和资源化，在厌氧消化前的预处理可以加快污泥水解提高厌氧消化效率。通过预处理技术，将污泥固相的磷释放出来，或在厌氧消化过程中更多的释放出来实现污泥中磷的回收。
2. vUCT-MBR系统是在UCT-MBR系统上进行改良实现污泥零排放，并在厌氧区投加铁源，形成蓝铁石结晶（vivianite: $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ）实现P的回收。

研究内容 1 —— 污泥磷释放的研究

1. 研究不同预处理方法对污泥磷释放的影响；
2. 研究了不同预处理方法对污泥厌氧消化中磷释放的影响情况。

研究方法 1

1. 采用不同预处理技术：热水解、超声、热水解-超声、酸、碱和臭氧预处理；研究预处理对污泥释磷及其他理化指标的的影响情况，
2. 选择热水解，超声预处理后的泥进行污泥厌氧消化实验，与未经预处理的厌氧消化结果进行比较，考察不同预处理对厌氧消化过程中磷及其他理化性质变化的影响情况。



研究结果 1

预处理对磷释放的影响

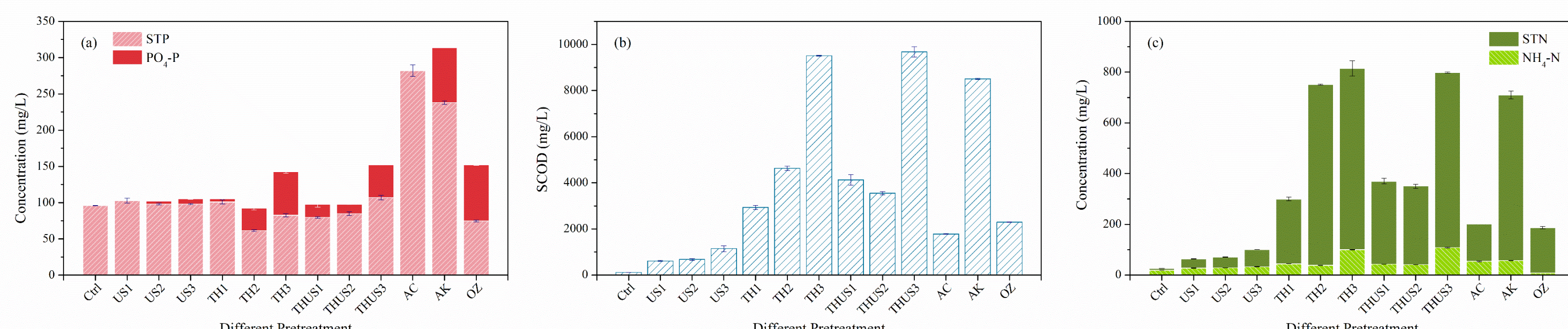


Fig.1 不同预处理对上清液P(a), COD(b) 和N(c)浓度的影响情况

- ◆ 酸碱预处理有利于污泥P的释放，且主要形态为无机P；
- ◆ 热水解后也有部分有机P释放出来；其他预处理对污泥释P无明显影响；
- ◆ COD与N的释放情况基本一致，但是与P释放规律不同，释放出来多为含N有机物。

- ◆ 释放出来的含N有机物主要为酪氨酸，色氨酸等
- ◆ 热水解，酸处理对污泥表面溶胞效果较明显

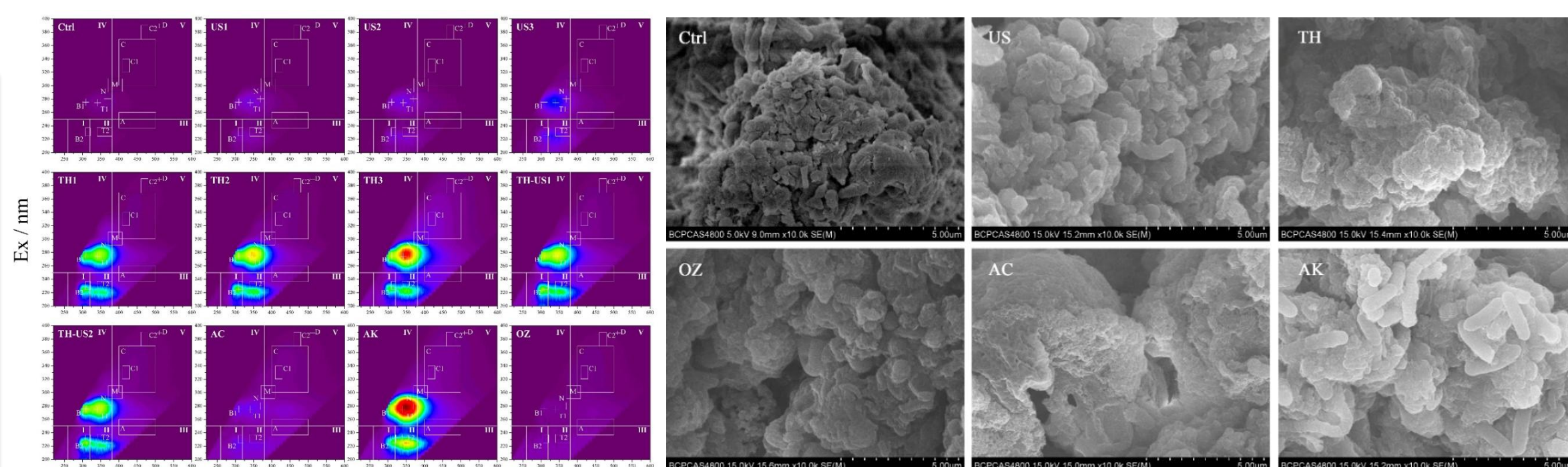


Fig.3 不同预处理后上清液三维荧光图谱

Fig.4 不同预处理后污泥SEM照片

预处理对厌氧消化的影响

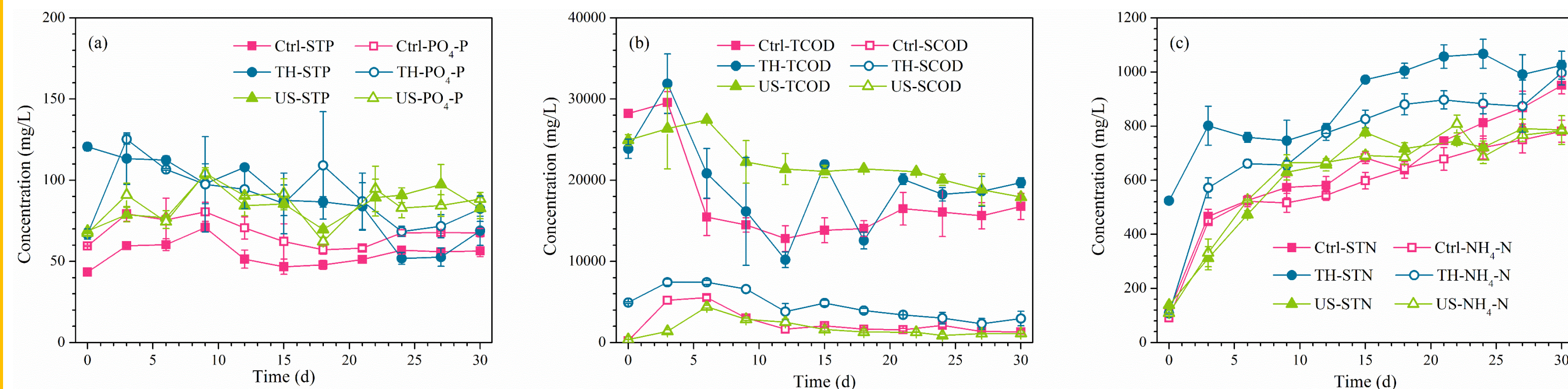


Fig.5 不同预处理厌氧消化过程中P(a), COD(b)和N(c)的变化情况

- ◆ 厌氧消化过程并没有释磷，热水解污泥消化过程中磷浓度还会减小，但是溶解性有机磷会转化为无机磷；
- ◆ 热水解对厌氧消化的加快作用比较明显，N的溶解效果均增加，且热水解污泥效果最好

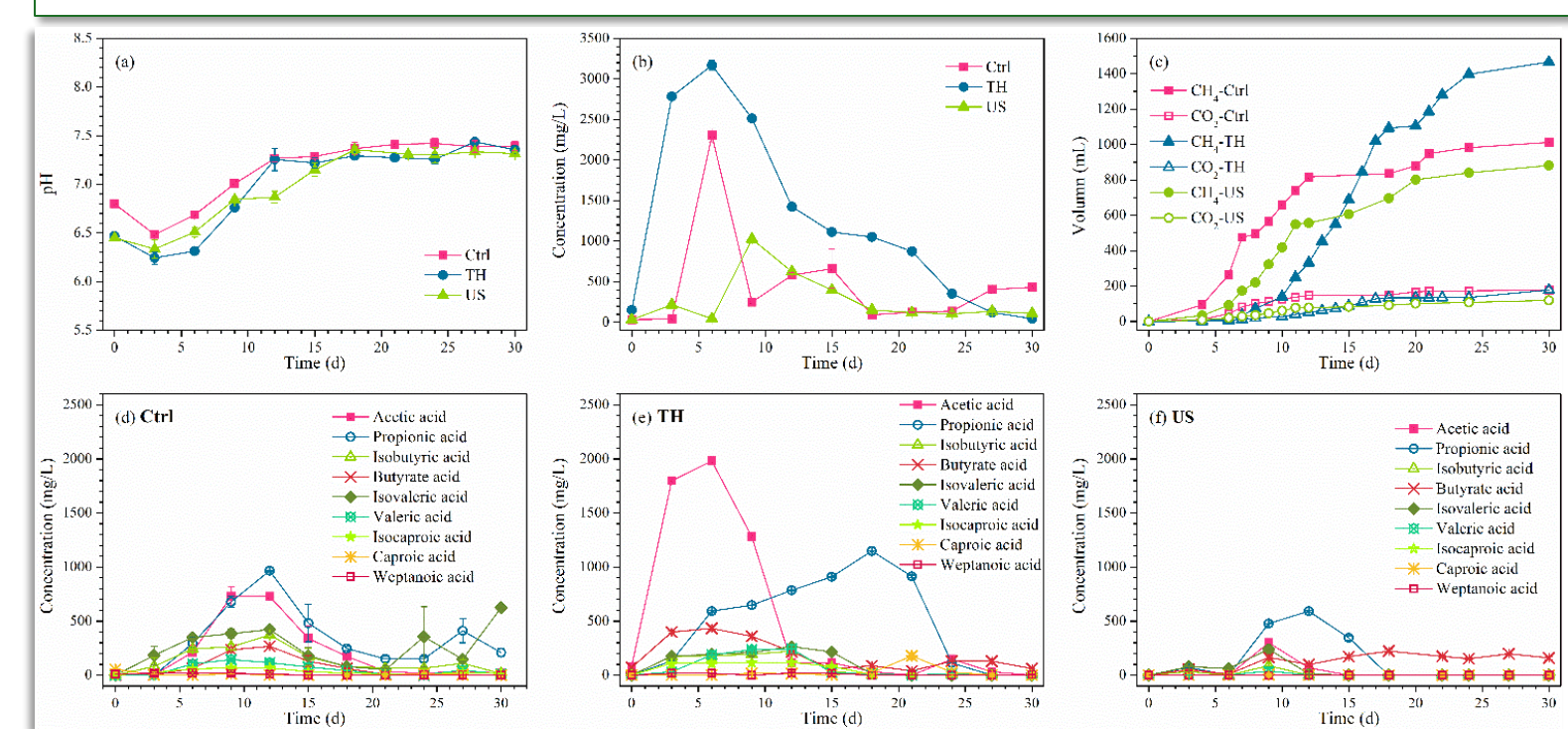


Fig.6 不同预处理厌氧消化过程中pH, VFAs和产气的变化情况

- ◆ 热水解预处理对污泥水解效果较明显，前期产酸最多，主要以乙酸为主
- ◆ 热水解污泥厌氧消化过程中甲烷总产量较对照组增加了44.76%
- ◆ 超声预处理对厌氧消化效果影响不明显

研究成果

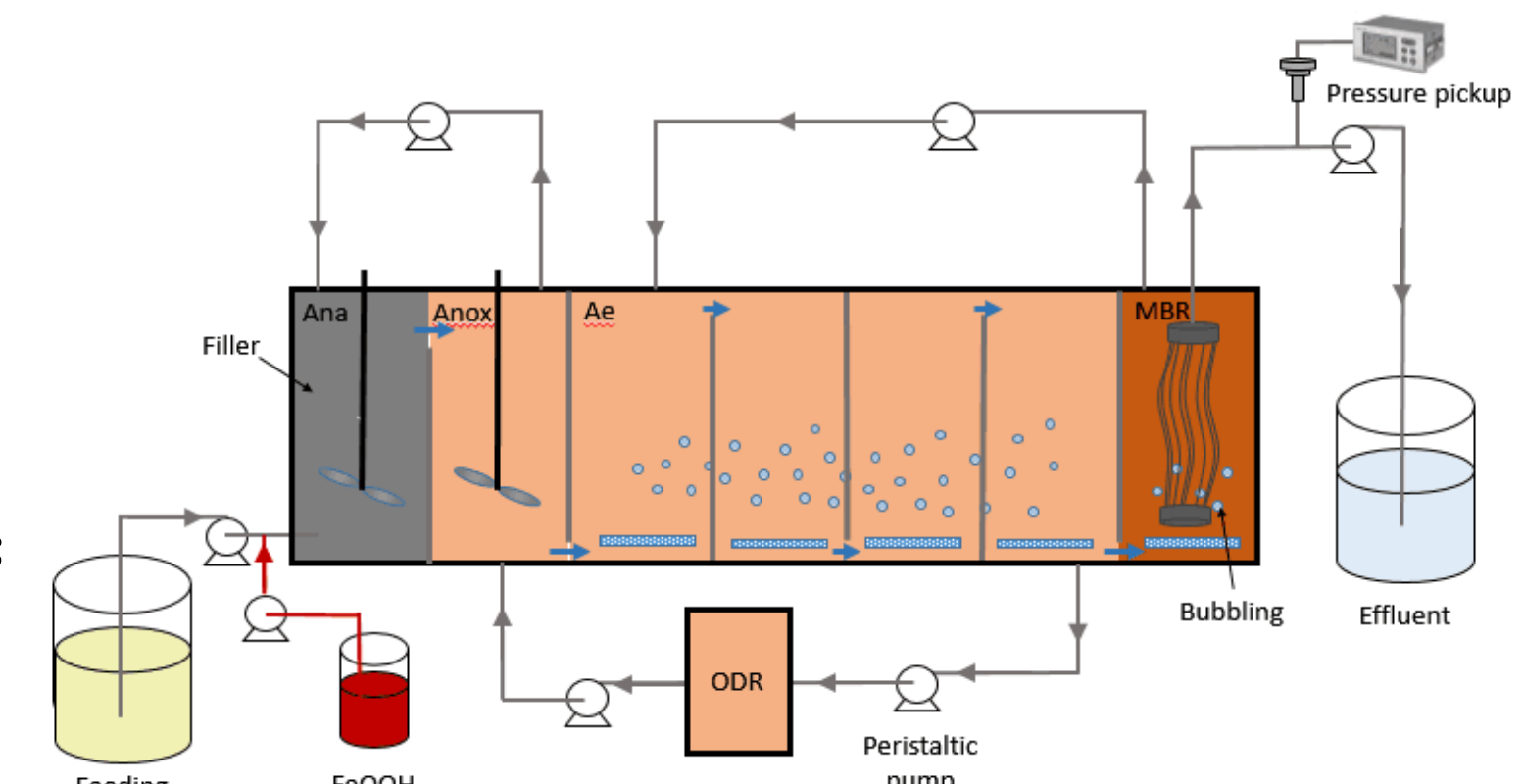
Xiang Cheng*, Jiaqi Liu, Jingbao Tian, Amna Bashir, Yue Shang. Effectiveness of sewage sludge pretreatment for phosphorous release and anaerobic digestion. (待投稿)

研究内容 2 —— vUCT-MBR系统回收磷

1. 检测vUCT-MBR系统连续运行C、N、P的去除效果，考察加Fe对反应器运行效能的影响；
2. 研究P、Fe在vUCT-MBR系统各单元中的分布情况：包括P、Fe的各种形态及占比情况；
3. 研究加Fe对活性污泥性质的影响：括污泥浓度、脱水性能和形态等。

研究方法 2

1. 连续监测反应器运行过程中各区常规指标；
2. 考察不同时期污泥的浓度（SS）、尺寸、表面变化（SEM），稳定性、污泥比阻、沉降性；
3. 利用 ^{31}P -NMR技术、DAPI染色技术分析各反应区P形态分布及转化；利用HCl、焦磷酸钠、草酸铵分别提取混合液中的Fe(II)及 FeT_m ，并根据不同提取方法提取出的不同形态Fe对Fe形态及分布进行分析。



研究结果 2

vUCT-MBR系统运行情况

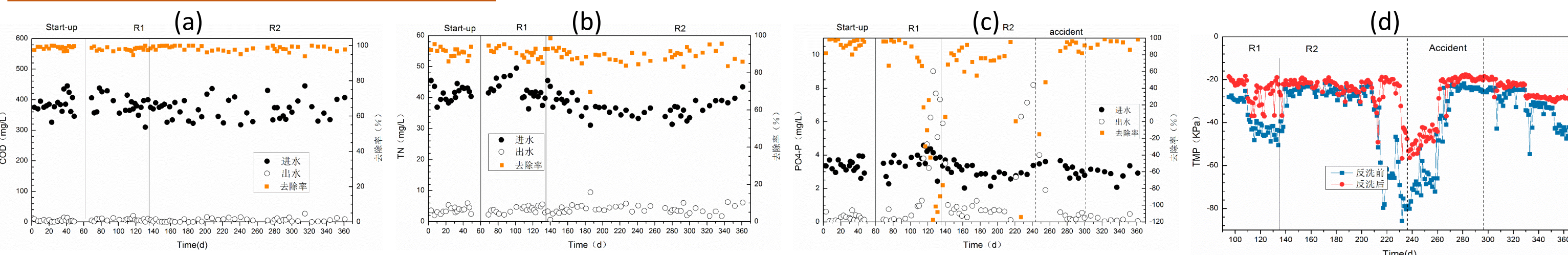


Fig.1 vUCT-MBR系统中COD(a),TN(b),PO4-P(c)和TMP(d)变化情况

- ◆ 在不排泥的情况下反应器运行正常，前期崩溃期加铁后依然可以恢复到之前的状态

vUCT-MBR各反应区污泥Fe和P分析



Fig.2 vUCT-MBR系统中各反应区磷分级结果

- ◆ 主要以无机磷为主；
- ◆ 随着时间的推移，NAIP增减，污泥中的可被生物利用的磷增加。

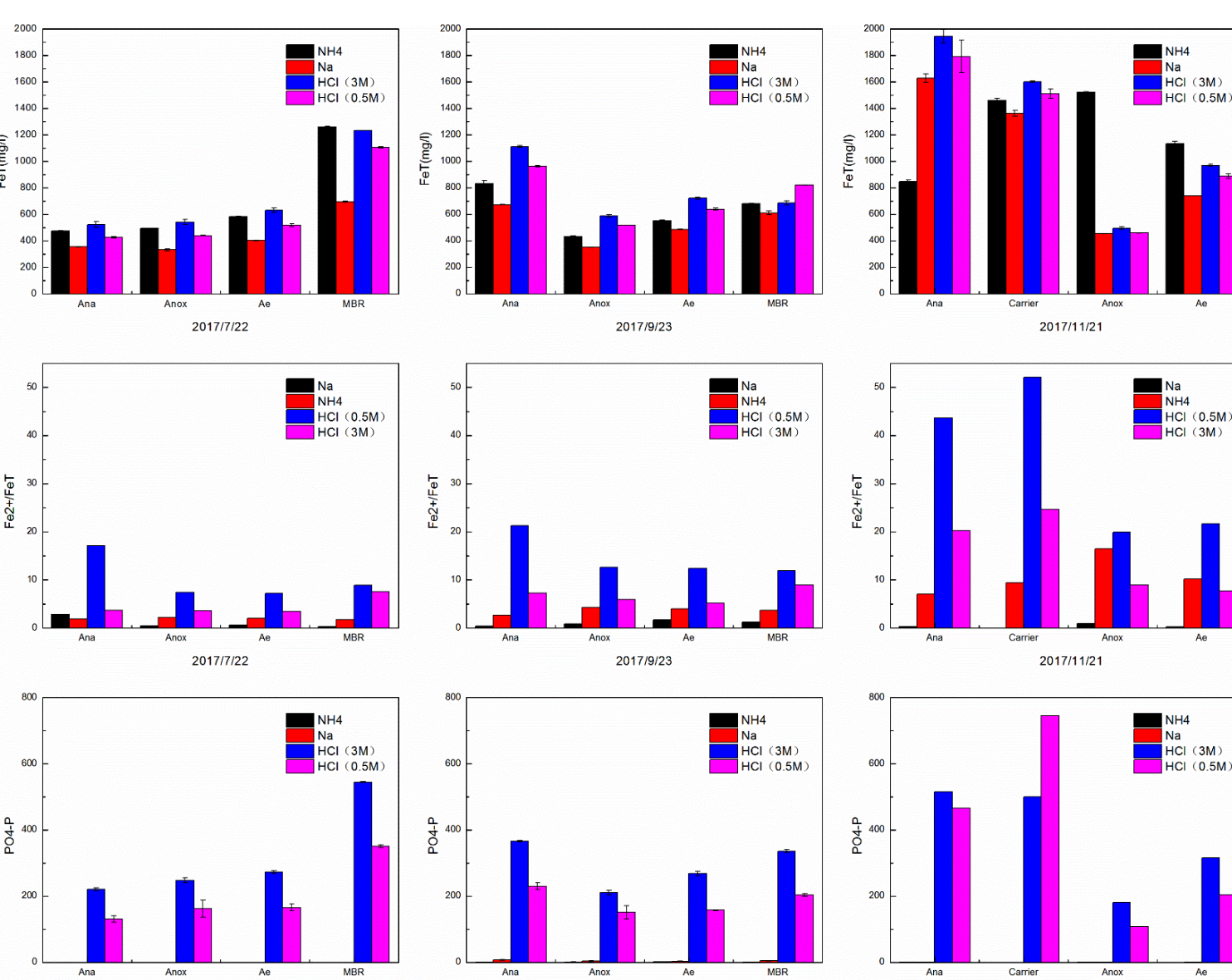
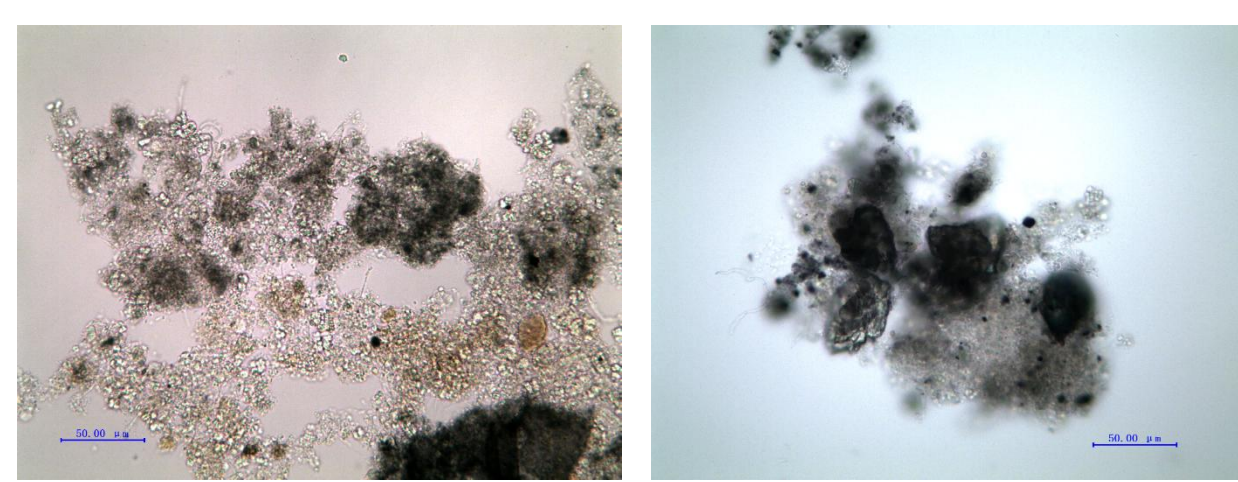


Fig.4 vUCT-MBR系统中Fe提取结果

- ◆ 显微照片：厌氧区观察到晶体物质；
- ◆ SEM照片中也观察到的花型晶体；
- ◆ EDS分析结果：晶体中含有大量的Fe和P，极度怀疑是蓝铁石（vivianite: $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ）。

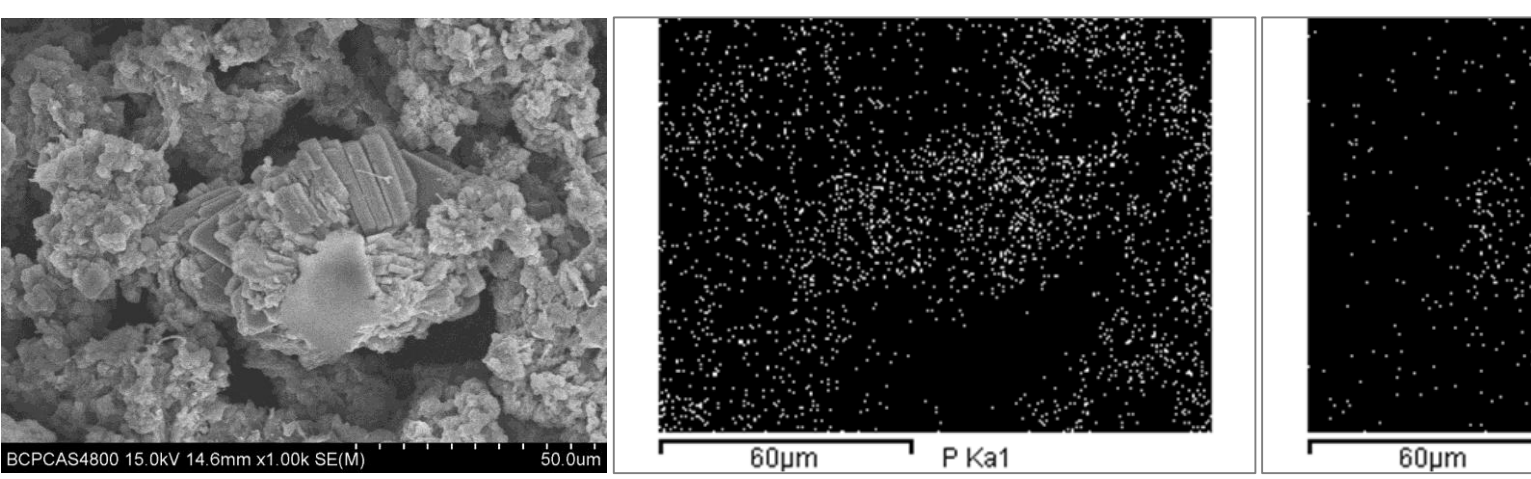


Fig.5 vUCT-MBR系统中厌氧泥显微照片，SEM照片和EDS结果

科研成果

- [1] X. Chen, X. Cheng*, B. Chen, D. Sun, W. Ma, X. Wang, Phosphorus precipitation in septic systems induced by iron reduction: a process for phosphorus removal under anaerobic conditions, Desalin. Water Treat. 54 (2015) :2891-2901
- [2] X. Cheng*, B. Chen, Y. Cui, D. Sun, X. Wang, Iron(III) reduction-induced phosphate precipitation during anaerobic digestion of waste activated sludge, Sep. Purif. Technol. 143 (2015) 6–11
- [3] X. Cheng*, J. Wang, B.g Chen, Y. Wang, J. Liu, L. Liu, Effectiveness of phosphate removal during anaerobic digestion of waste activated sludge by dosing iron(III), J. Environ. Manage. 193 (2017) 32-39