丝状真菌 *Talaromyces flavus* S1 改善污泥脱水性能及机理研究

史佳晟[1]，余 雷[1]，朱 葛[3]，宋 联[1]，刘 和[*1,2]，何艳华[3]

（1. 江南大学 环境与土木工程学院，江苏 无锡 214122；2. 江南大学 江苏省厌氧生物技术重点实验室，江苏 无锡 214122；3. 无锡国联环保科技股份有限公司，江苏 无锡 214100）

摘要：从城市剩余污泥中分离出一株丝状真菌 *Talaromyces flavus* S1，将预培养的菌丝体接种到污泥后，能够有效地改善污泥脱水性能。通过分离菌丝体培养液，发现并非真菌分泌物（微生物絮凝剂）而是菌丝体本身改善了污泥脱水性能；菌丝体对高浓度污泥的脱水性能影响显著，最多可提高 40.58%，污泥浓度较小时，脱水性能不但没有改善反而变差；与聚丙烯酰胺（PAM）和聚合氯化铝铁（PAFC）相比，菌丝体调理对毛细吸水时间的降低更显著，而添加 PAM 对污泥比阻效果更好，单独添加 PAFC 效果最差，在 PAM 与菌丝体协同调理下，污泥的脱水性能可提高 60%左右。通过污泥粒径分布与 SEM 电镜扫描的结果发现：菌丝体通过缠绕包裹小颗粒的污泥，使污泥絮体和污泥颗粒增大从而改善了污泥脱水性能。菌丝体接种的接种方式比孢子直接接种更加实际有效，利用生物法改善了污泥脱水性能，对以该菌为基础开发生物脱水工艺有重要意义。

关键词：丝状真菌；污泥；脱水性能；菌丝体

中图分类号：X 703　**文章编号：**1673-1689(2019)10-0111-08　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2019.10.016

Improvement of Sludge Dewatering by Filamentous Fungi *Talaromyces flavus* S1 And Its Mechanism

SHI Jiasheng[1]，*YU Lei*[1]，*ZHU Ge*[3]，*SONG Lian*[1]，*LIU He*[*1,2]，*HE yanhua*[3]

(1. School of Environment and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Anaerobic Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China 3. Wuxi Guolian Environmental Science Technology Co., Ltd., Wuxi 214100, China)

Abstract: A filamentous fungi strain named *Talaromyces flavus* S1 was isolated from the municipal sludge. The dewaterability of sludge could be improved remarkably when the mycelium was inoculated to sludge. The results show that it is the mycelium itself rather than fungal secretions (Microbial flocculatants) improved the sludge dewaterability by separtating the culture solution of mycelium; The dewaterability of high concentration sludge was improved significantly by adding the

收稿日期：2017-03-17

基金项目：国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07306001)。

* **通信作者：**刘　和(1974—)，男，博士，教授，博士研究生导师，主要从事固体废物资源化研究。E-mail：liuhe@jiangnan.edu.cn

引用本文：史佳晟，余雷，朱葛，等. 丝状真菌 *Talaromyces flavus* S1 改善污泥脱水性能及机理研究 [J]. 食品与生物技术学报，2019，38(10)：111-118.

fungal mycelium,as well as,it could be increased by 40.58%. When the sludge concentration is low, the dewaterability is even poorer than the raw sludge;The Capillary Suction Time (CST) of the sludge by conditioning of mycelium shows greater reduction compared with the Polyacrylamide (PAM) and polyaluminum ferric chloride (PAFC),but PAM is more effective to the specific resistance of sludge (SRF),while,the role of PAFC is weakest. The sludge dewaterability could be improved by 60% under the synergistic effect of PAM and mycelium. From the results of sludge particulate distribution and Scanning Electron Microscope (SEM),it shows that the dewaterability was advanced by the enlargement of sludge floc and particulate due to the small sludge particulate was wrapped by the mycelium. In a word,a more effective and reliable biological conditioning method is put forward to improve the sludge dewaterability on the basis of using the fungal spores. The results have an important significance to develop a new biological technology on sludge dewatering based on this filamentous fungi.

Keywords: filamentous fungi,sludge,dewaterability,mycelium

近年来,随着城市污泥产量逐年增大以及其对环境的危害性,污泥的问题引起了广泛关注[1-2],但是污泥含水率较高会给后续的处理处置带来技术上的困难,所以污泥脱水成为污泥处理过程中的重要环节[3]。

目前污水处理厂主要通过投加大量的化学药剂来改善污泥的脱水性能,包括聚丙烯酰胺(PAM)、石灰、聚合氯化铝铁(PAFC)等。但这些化学药剂价格昂贵,大大增加了污水处理厂的运行成本;更重要的是,它们具有毒性和腐蚀性,会对环境造成二次污染[4-5]。为了替代昂贵的化学调理剂并减少环境危害,生物法调理逐渐受到重视[6],最近一些关于丝状真菌的研究表明其对改善污泥的沉降性能和脱水性能具有积极作用,丝状真菌具有无毒性,不会产生二次污染,利用丝状真菌处理污泥具有较大的研究和应用价值[7]。文献[8]从污泥中分离出一株菌 *Penicillium* sp. ACS3,发现能将污泥絮凝成球,使污泥脱水性能得到显著提高;文献[9]研究表明在污泥不灭菌的情况下,*Penicillium corylophilum* 比 *Aspergillus niger* 有更好的适应性,将 *Penicillium corylophilum* 接种到灭菌污泥中处理后,污泥比阻降低了 93.20%;而文献[10]从污泥中分离的丝状真菌 *Penicillium expansum* BS30,可使污泥的脱水性能提高 60%[10]。

以上报道大多是用孢子直接接种到污泥中,虽然有较好的脱水效果,但是,只有在无菌或少菌的污泥中接种真菌孢子才能保证真菌的存活并进一步改善污泥脱水性能;同时,为了保证少量孢子在污泥中生长,对培养条件的控制要求很高,操作难度较大,所以该方法很难用于实际的污泥脱水。而到目前为止,针对丝状真菌处理污泥的研究主要利用的是青霉菌属,关于其他种属的研究还不多。因此,本研究从污泥中分离出一株刺篮状真菌 *Talaromyces flavus* S1,将真菌孢子预培养成菌丝体,由于菌丝体是一种更大更成熟的真菌形态,因此将预培养的菌丝体接种到污泥中,分析其对污泥脱水性能的影响及机理,研究结果对于未来以该菌为基础开发生物脱水工艺具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 污泥来源及性质

城市污泥取自无锡市某污水处理厂的污泥浓缩池,并于 4 ℃下存储备用。污泥的 pH 值为 7.43,含固率(TS)为 3.71%,挥发性固体(VS)为污泥干重的 46.58%,原始污泥的比阻值(SRF)为 4.02×10^{12} m/kg,毛细吸水时间(CST)为 49.5 s。

1.2 真菌的分离与鉴定

丝状真菌从城市污泥中分离得到,分离和筛选方法如下:在常温下,用灭菌去离子水将污泥样品进行 1 000 倍稀释并在摇床中震荡 60 min[11],将 1 mL 稀释好的污泥样品加入灭菌后的培养皿,随后加入约 15 mL 的孟加拉红培养基(RBM)[12],待其固化后将平板放在 28 ℃恒温培养箱里培养 2 周并定期进行观察。挑取培养皿中的菌落至马铃薯葡萄糖

琼脂培养基(PDA)中进行培养,用于纯化分离的菌株。纯化后的菌株在显微镜下观察,发现该菌子囊孢子呈球形、近球形或椭圆形,透明、黄色,呈单细胞,壁平滑或有不同的纹饰,且在显微镜下形态一致,纯度较高。

分子生物学鉴定: 本研究用真菌通用引物 *Its*1 和 *Its*4 进行 PCR 扩增, 结合 DNA 测序技术对该其进行鉴定。具体步骤:用酵母基因组 DNA 提取试剂盒快速提取丝状真菌基因组 DNA, 并进行 PCR 扩增, 引物为针对真菌核糖体 RNA 基因序列的通用引物 *Its*1 和 *Its*4。*Its*1 的碱基序列为 5′-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3′,Its4 碱基序列为 5′-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3′(TaKaRa 公司合成)。PCR 反应体积为 50 μL,包括 5 μL 模板 DNA、引物 *Its*1 1 μL、引物 *Its*4 1 μL、dNTP Mixture(各 2.5 mmol/L)4 μL、10×PCR Buffer 5 μL、5 U/μL Taq 酶 0.5 μL,灭菌蒸馏水 33.5 μL;反应条件:94 ℃预变性 5 min;94 ℃ 30 s、55 ℃ 30 s、72 ℃ 1 min, 共 30 个循环;72 ℃延伸 7 min。PCR 产物委托上海生工生物工程有限公司进行双向测序,所得核苷酸序列结果通过 NCBI 的 GenBank 找到类似的序列, 通过同源性比较后,发现该株菌与 *Talaromyces flavus* 相似性为 99%,用 Mega 6.0 构建系统发育树。

1.3 孢子悬浮液与培养液的制备

孢子悬浮液的制备:用无菌的去离子水冲洗长有丝状真菌的 PDA 培养基,用三角瓶收集含有真菌孢子的悬浮液。将孢子悬浮液稀释 100 倍后置于摇床中以 150 r/min 的转速旋转 24 h, 得到孢子悬浮液作为接种物。用血球计数法测定孢子浓度为 1.2×10^7 个/mL[13]。

马铃薯葡萄糖培养液(PDB)的制备:将 200 g 马铃薯去皮, 切成小块, 放入去离子水中煮沸 20 min,用 2 层纱布过滤,滤液中加入 15~20 g 葡萄糖并定容到 1 000 mL, 分装到 250 mL 的三角瓶中盖塞,每瓶体积为 100 mL,放入 121 ℃灭菌锅中灭菌 20 min。取出放至室温。

1.4 实验步骤与方法

将 1 mL 制备好的孢子悬浮液接种至经过高温灭菌的含有 100 mL 的 PDB 培养液的三角瓶中,在温度为 30 ℃、150 r/min、初始 pH 条件下培养 7 d,获得菌丝体混合物(包含培养液),将菌丝体混合物在 4 000 r/min 下离心 10 min 并分离, 将获得的菌丝体分别按体积比为 10%、20%、30%、40%、50%添加到不同浓度的污泥 (含固率分别为 1%、2%、3%、4%、5%、6%、7%)中,搅拌均匀后分析其脱水性能,具体步骤见图 1。

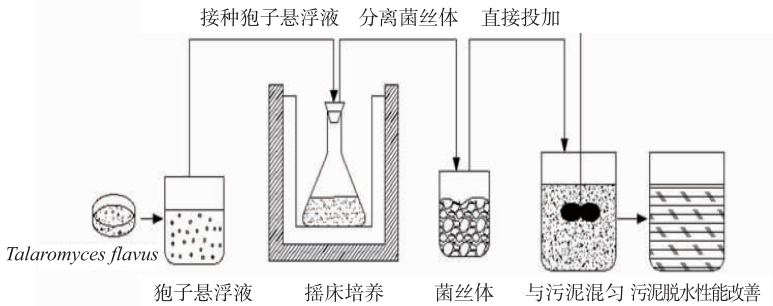


图 1 菌丝体处理污泥的实验步骤

Fig. 1 Process of sludge treatment by mycelium

分别添加 50%(v/v) 菌丝体、1.5‰(w/w)PAM(聚丙烯酰胺)、5%(v/v)PAFC (聚合氯化铝铁)、1.5‰PAM+50%菌丝体、5%PAFC+50%菌丝体到 100 mL 原泥中搅拌均匀, 分析其对脱水性能的影响。

1.5 测定方法

污泥的 pH 值、TS、VS 均采用国标法测定[14];污泥毛细吸水时间采用 CST 测定仪 (TYPE 304M)测定[15];污泥比阻采用标准布氏漏斗装置测定法[16];污泥粒径分布采用 BT-2003 型激光粒度分布仪测定[17];电镜扫描(SEM):调理后的污泥样品经过冷冻-干燥处理后,吸去表面灰尘,用银导电胶将样品固定在制样台上,样品表层经过喷金处理后,采用 Hitachi Su1510 型扫描电子显微镜(SEM)进行污泥外观形貌分析。

2 结果与讨论

2.1 菌丝体培养液的不同组分对污泥脱水性能的影响

添加真菌菌丝体后能够显著改善污泥的脱水性能。而一些真菌生长分泌的物质也能促进污泥脱水性能提高,起到生物絮凝的作用[18],为了分析真菌培养液中不同物质对脱水性能的影响,图 2 分别将菌丝体混合物(包含培养液)、离心后的上清液以及菌丝体添加到污泥中,分析其对污泥脱水性能的不同影响。

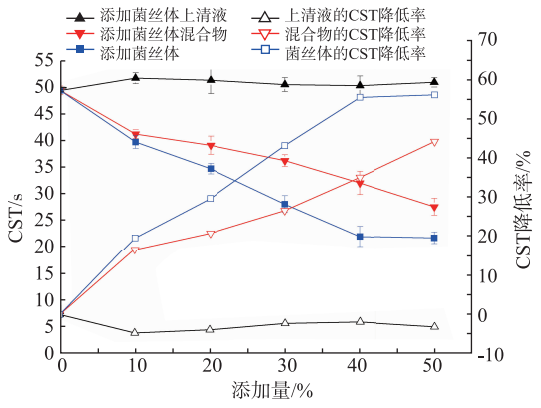


图 2 菌丝体培养液不同组分以添加量对脱水性能的影响

Fig. 2 Effects of sludge dewaterability by different component and volumes of mycelium solution

如图 2 所示,将菌丝体混合物加入到污泥后,污泥的 CST 出现不同程度的下降:当混合物的添加量为 10%时,污泥的 CST 值从初始的 49.5 s 下降到 41.3 s,随着添加量越多,CST 下降得越多,当添加量为 20%时,CST 为 39.2 s,CST 降低了 23.6%,当添加量为 50%时,污泥的 CST 为 27.6 s,CST 降低了 44.8%,此时污泥脱水性能大幅的改善;而将分离后的菌丝体加入到污泥中混匀后,其效果是三者中最好的,添加量为 30%时污泥 CST 值降低到 30 s 以内,脱水性能提高了 45%,而 CST 最多下降了 60.2%。将分离后的上清液添加到污泥中,发现上清液并不能提高污泥的脱水性能,甚至使污泥的 CST 有所上升。

可以看出,预培养的菌丝体混合物直接投加到污泥中能够使污泥的脱水性能得到改善;而为了排除真菌分泌物的干扰,把菌丝体混合物离心分离后再将上清液和沉淀的菌丝体分别按比例投加到污泥中,结果显示:主要是菌丝体改善了污泥的脱水性能,而非真菌分泌物的作用;不同的添加量对脱水性能也有不同影响,添加量越多污泥脱水性能提高越明显。

2.2 菌丝体对不同浓度污泥脱水性能的影响

添加菌丝体可以改善污泥脱水性能,但是其对不同浓度的污泥有不同的影响。图 3 是添加 30%的菌丝体到不同浓度的污泥后,污泥 CST 和 SRF 的变化情况。

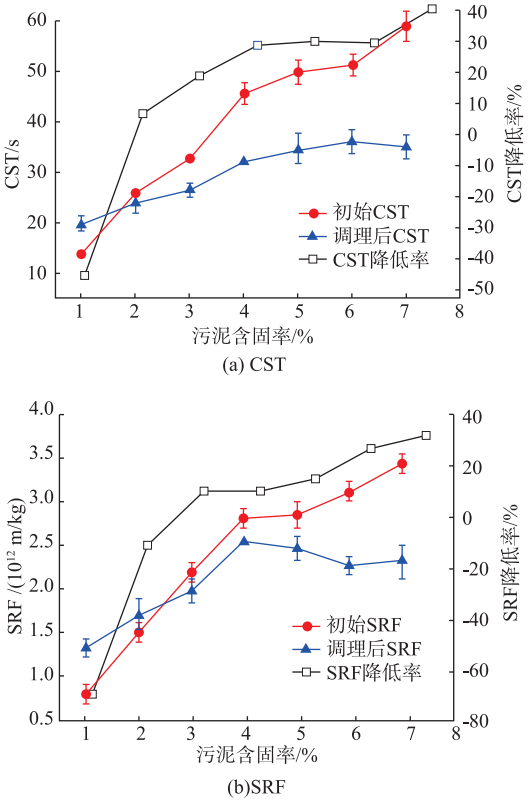


图 3 菌丝体对不同浓度污泥脱水性能的影响

Fig. 3 Changes of dewaterability of different sludge concentration by addition of mycelium

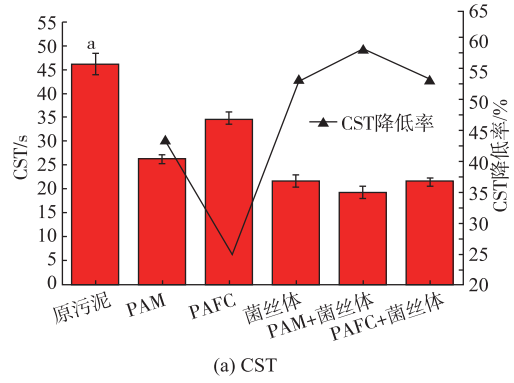
如图 3(a)所示,当把菌丝体添加到 1%浓度的污泥中时,污泥的 CST 值从初始的 13.5 s 上升至 19.6 s,脱水性能恶化;而当污泥浓度大于 2%时,菌丝体对污泥脱水的效果比较明显,污泥浓度为 7%时,初始的 CST 值为 58.9 s,经过菌丝体调理后,CST 降为 35 s。由此可见,菌丝体改善污泥脱水性能的效果是随着污泥浓度的升高而提高的,最多提高了40.58%。如图 3(b),污泥比阻的变化与 CST 相似,当污泥浓度大于 3%时,调理后的污泥比阻开始

比初始值好，当污泥浓度为 7%时，污泥比阻从 3.41×10^{12} m/kg 下降到 2.32×10^{12} m/kg，降低了 32%。

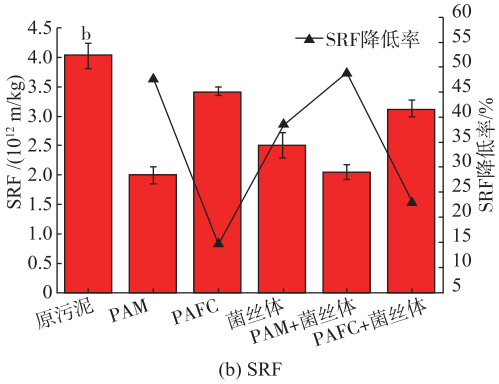
因此，菌丝体对不同浓度的污泥影响不同，当污泥浓度越高时，污泥的 CST 和 SRF 下降得越多，而当污泥浓度较小的时候，污泥的脱水性能不但没有改善反而变差了，这可能是因为当污泥浓度比较小时，污泥的 CST 值小于 20 s，脱水性能已经很好，但是粘稠的菌丝体添加到污泥中后，不但没有较好的包裹污泥颗粒，反而阻碍了污泥中自由水的流动，使得污泥脱水性能恶化，而当污泥浓度较高时，污泥的中固体小颗粒多，污泥固体颗粒被丝状真菌菌丝体捕获而改变了污泥原有的孔隙结构，自由水得到了释放，因此污泥的脱水性能得到提高[19]。

2.3 生物法、化学法调理及协同调理改善污泥脱水性能

丝状真菌 *Talaromyces flavus* S1 的菌丝体能够较好的改善污泥污泥脱水性能，与传统化学絮凝剂相比，其调理效果仍然是可观的。图 4 是利用真菌菌丝体调理与污水处理厂常用的化学絮凝剂 PAM、PAFC 调理效果的比较。



(a) CST



(b) SRF

图 4 菌丝体与化学絮凝剂的比较

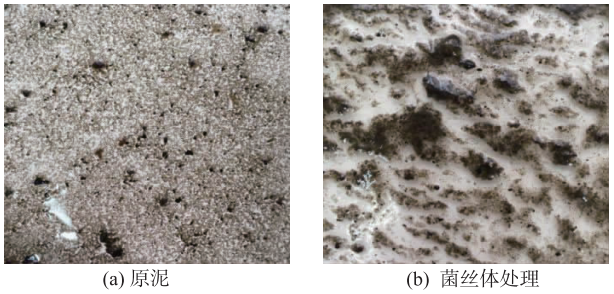
Fig. 4 Comparisons of mycelium compared with the chemical flocculant

如图 4(a)，污泥初始 CST 值为 46.1 s，用 PAM、PAFC 和菌丝体调理后，污泥的 CST 分别变为 26.3 s、34.7 s 和 21.7 s，利用菌丝体调理后的污泥 CST 下降最明显，下降率达到 52.93%，其调理效果最好；而如果将菌丝体与 PAM、PAFC 联用，在其协同作用下，污泥的脱水性能进一步提高，CST 下降率达到 59.13%。SRF 的变化与 CST 有所不同：如图 4(b)所示，3 种调理剂中，用 PAM 处理的污泥，其比阻下降最明显，从 4.02×10^{12} m/kg 下降至 2.11×10^{12} m/kg，而用 PAFC 和菌丝体的污泥分别为 3.44×10^{12} m/kg 和 2.5×10^{12} m/kg，而将菌丝体和 PAM、PAFC 联用时，PAM 协同菌丝体的效果仍然是最佳的，可使 SRF 下降 49.4%。

由此可知，对于毛细吸水时间来说，单独添加菌丝体的效果比较好，但是对于 SRF 来说，单独添加 PAM 效果更佳，它们都要比添加 PAFC 的效果好，而将 PAM 与菌丝体联合使用加入到污泥中，在其协同作用下，污泥的脱水性能提高了 60%左右。

2.4 添加菌丝体后污泥絮体结构的变化

图 5 是在污泥浓度为 3.71%的浓缩池污泥中加入真菌菌丝体后的宏观照片(白色为背景)，图 5(a)是浓缩池原污泥，可以看出其污泥颗粒细小而稠密，当添加菌丝体后，污泥的形貌如图 5(b)，此时，一些小颗粒污泥被包裹絮凝在一起，形成絮状体，而污泥的流动性相对更好，有利于后续的污泥脱水。



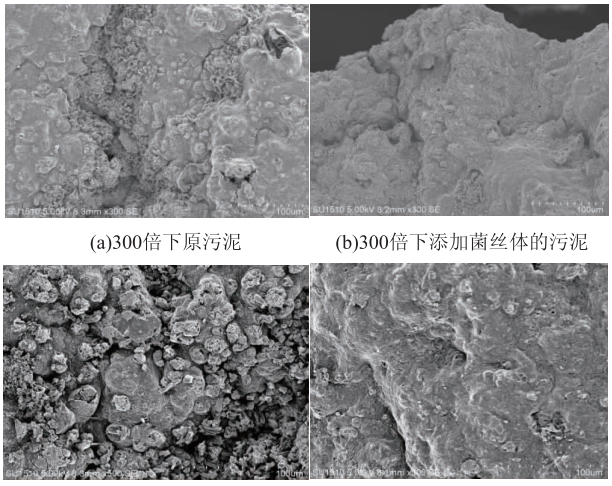
(a) 原泥　　(b) 菌丝体处理

图 5 菌丝体添加后污泥的宏观形态变化

Fig. 5 Macroscopical change of the sludge morphology by addition of mycelium

图 6 是污泥进行 SEM 电镜扫描的电镜照片，其中图 6(a)、(b)分别是在 300 倍下原污泥的照片和添加菌丝体后污泥形貌的照片，图 6(c)、(d)是分别在 500 倍下原污泥的照片和添加菌丝体后污泥的形貌照片。从电镜照片中可以看出，图 6(a)和图 6

(c)中含有很多细小的污泥颗粒,虽然小颗粒污泥之间有一定的空隙能够让自由水自由流动,但是在抽滤或者压滤的过程中这些小颗粒物质会很快堵住滤纸或滤布等过滤介质,造成大块的污泥絮体或过滤介质阻塞,影响污泥脱水过程;而在图 6(b)和图 6(d)中,在长纤维的真菌菌丝作用下,小颗粒的污泥被包裹进菌丝体和污泥缠绕成的较大絮体中,一方面,小颗粒不会阻塞过滤介质,从而使污泥中的自由水能够持续得流出污泥絮体,进而提高污泥脱水效率,另一方面,真菌菌丝体的长纤维结构能够改变污泥絮体的刚性结构或污泥的可压缩性,有助于改善污泥脱水性能[20]。



(a)300倍下原污泥　(b)300倍下添加菌丝体的污泥

(c)500倍下原污泥　(d)500倍下添加菌丝体的污泥

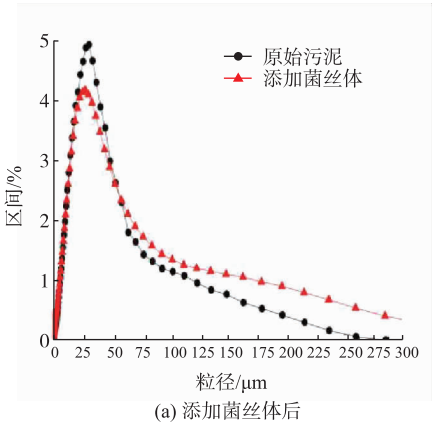
图 6　污泥的微观形貌特性

Fig. 6　Sludge microscopic morphology

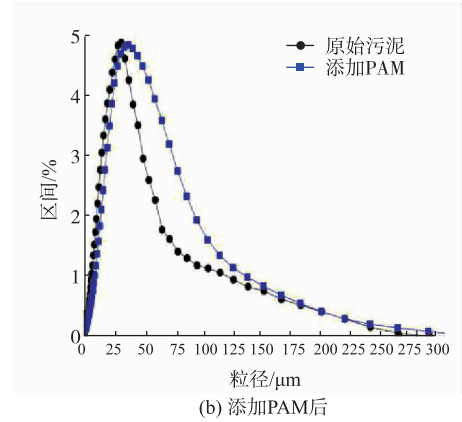
2.5　添加菌丝体后污泥粒径的变化

真菌菌丝体能包裹细小污泥颗粒来改善污泥的脱水性能,其缠绕包裹小颗粒污泥促进污泥絮体变大,通过污泥粒径分布情况可以看出污泥絮体的变化趋势。图 7 分别将添加菌丝体后、添加 PAM 后以及添加 PAFC 后的污泥与原污泥的粒径分布情况的比较,结果显示,添加 3 种调理剂都能在一定程度上使污泥的粒径变大。

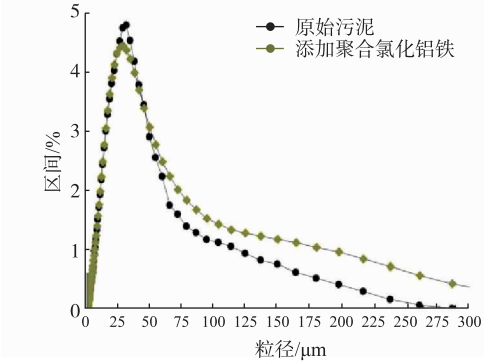
如图 7(a),添加菌丝体后污泥的粒径大于原污泥,添加菌丝体后,粒径在 25~75 μm 区域内的污泥颗粒要小于原污泥,而粒径大于 75 μm 的污泥颗粒要明显高于原污泥,表明其污泥平均粒径比原污泥大,其变化趋势与图 7(c)添加聚合氯化铝铁的粒径分布趋势相似; 而添加 PAM 的污泥其粒径分布在 50~150 μm 区域的颗粒要远远多于原污泥,其总体的颗粒粒径也要大于原污泥。



(a) 添加菌丝体后



(b) 添加PAM后



(c) 添加PAFC后

图 7　添加菌丝体后污泥粒径的变化

Fig. 7　Change of sludge particle size after addition of mycelium

由此可见,添加菌丝体的污泥颗粒粒径要显著大于原污泥,其粒径的分布趋势与聚合氯化铝铁相似,进一步说明了真菌菌丝体添加到污泥后能够包裹污泥颗粒,改变了污泥絮体结结构,使污泥絮体变大,从而改善了污泥的脱水性能。

3 结 语

本研究采用菌丝体接种的方式，将丝状真菌 *Talaromyces flavus* S1 预培养形成的菌丝体添加到污泥中进行调理后提高了污泥脱水性能，这不是真菌分泌物的作用，而是菌丝体本身改善了污泥脱水性能，添加量越多脱水性能改善越明显；菌丝体对高浓度污泥的脱水性能影响更显著，污泥浓度较小时，脱水性能不但没有改善反而变差；与传统化学絮凝剂相比，大量添加菌丝体对 CST 的降低最明显，而添加 PAM 对 SRF 影响更大，两者调理效果都好于单独添加 PAFC，在 PAM 与菌丝体协同调理下，污泥的脱水性能最多可提高 60%左右。通过污泥粒径分布与 SEM 电镜扫描的结果发现：小颗粒的污泥被菌丝体捕获，改变了污泥絮体结结构，使污泥絮体增大改善了污泥脱水性能，菌丝体的长纤维结构还能改变污泥絮体的刚性结构和可压缩性，有助于提高脱水性能。菌丝体接种的接种方式比孢子直接接种更加有效且可操作性更强，研究结果对生物法改善污泥脱水性能有重要的潜在应用价值。

参考文献：

[1] XIANG Hang，YANG Shuo，SHI Jiasheng，et al. Differences between apparent indicators in describing dewatering rate and cake moisture content of municipal sludge[J]. **Acta Scientiae Circumstantiae**，2016，36(2)：564-568.(in Chinese)

[2] WANG Qingyan，DAI Lingfeng. Present situation and progress of sewage sludge treatment and disposal [J]. **Science and Technology of Sichuan Agriculture**，2014，7：56-58.(in Chinese)

[3] WANG Z，ZHENG G，ZHOU L. Degradation of slime extracellular polymeric substances and inhibited sludge flocs destruction contribute to sludge dewaterability enhancement during fungal treatment of sludge using filamentous fungus *Mucor* sp. GY-1[J]. **Bioresource Technology**，2015，192：514-521.

[4] LIU H，YANG J K，SHI Y F，et al. Conditioning of sewage sludge by Fenton' s reagent combined with skeleton builders[J]. **Chemosphere**，2012，88：235-239.

[5] LIU H，YANG S，SHI J S，et al. Towards understanding the dewatering mechanism of sewage sludge improved by bioleaching processing[J]. **Separation & Purification Technology**，2016，165：53-59.

[6] ZHANG Z，XIA S，ZHANG J. Enhanced dewatering of waste sludge with microbial flocculant TJ-F1 as a novel conditioner[J]. **Water Research**，2010，44：3087-3092.

[7] HUANG Xiaoge，LIU Yongde，ZHAO Jihong. Screening of efficient dewatering mould and analysis of its dehydration mechanism [J]. **Chinese Journal of Environmental Engineering**，2013，7(9)：3601-3606.(in Chinese)

[8] MURUGESAN K，SELVAM A，WONG J W C. Flocculation and dewaterability of chemically enhanced primary treatment sludge by bioaugmentation with filamentous fungi[J]. **Bioresource Technology**，2014，168：198-203.

[9] MANNAN S，FAKHRU'L-RAZI A，ALAM M Z. Use of fungi to improve bioconversion of activated sludge [J]. **Water Research**，2005，39(13)：2935-2943.

[10] SUBRAMANIAN S B，YAN S，TYAGI R，et al. A new，pellet-forming fungal strain：its isolation，molecular identification，and performance for simultaneous sludge-solids reduction，flocculation，and dewatering[J]. **Water Environment Research**，2008，80(9)：840-852.

[11] LI Kun，LI Jianghua，LIU Long. Screening of PVA-degrading strains and optimization of degradation conditions [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**，2015，34(8)：835-841.(in Chinese)

[12] MOLLA A H，FAKHRU'L-RAZI A，ABD-AZIZ S. A potential resource for bioconversion of domestic wastewater sludge[J]. **Bioresource Technology**，2002，85(3)：263-272.

[13] LI Aihua，YUE Sijun，MA Haibin. Correlativity of three counting methods of fungal spore[J]. **Journal of Microbiology**，2006，26(2)：107-110.(in Chinese)

[14] APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater，20th Edn. American Public Health Association，Washington，DC[M]. 1998.

[15] ZHOU Yujun，FU Haoyi，FAN Xianfeng. Isolation of filamentous fungi capable of enhancing sludge dewaterability and study of mechanisms responsible for the sludge dewaterability Enhancement[J]. **Environmental Science**，2015，2：612-618.(in Chinese)

[16] LIU F,ZHOU L,ZHOU J,et al. Improvement of sludge dewaterability and removal of sludge-borne metals by bioleaching at optimum pH[J]. **Journal of Hazardous Materials**,2012,221:170-177.
[17] HUAN L,YI Y J,MAHAR R B,et al. Effects of ultrasonic disintegration on sludge microbial activity and dewaterability[J]. **Journal of Hazardous Materials**,2009,161(2):1421-1426.
[18] LIU Yucheng,WAI Liping,CHEN Mingyan. Progress on development of flocculants in wastewater treatment [J]. **Chemical Industry Times**,2005,19(6):63-66.(in Chinese)
[19] ALAM M Z,FAKHRU'L-RAZI A. Enhanced settleability and dewaterability of fungal treated domestic wastewater sludge by liquid state bioconversion process[J]. **Water Research**,2003,37(5):1118-1124.
[20] MOWLA D,TRAN H,ALLEN D G. A review of the properties of biosludge and its relevance to enhanced dewatering processes [J]. **Biomass and Bioenergy**,2013,58:365-378.

科　技　信　息

欧盟评估一种海藻糖酶的安全性

2019 年 7 月 25 日,欧盟食品安全局就来自转基因里氏木霉菌株 DP - Nzs51 的海藻糖酶(α,α - 海藻糖酶葡萄糖水解酶,EC 3.2.1.28)(trehalase(α,α - trehalase glucohydrolase, EC 3.2.1.28)的安全性评价发布意见。

据了解,里氏木霉菌株 DP - Nzs51 产生的海藻糖酶旨在用于蒸馏酒精生产中。经过评估,评估小组认为在预期使用条件下这种食品酶不会引起安全问题。

[信息来源]食品伙伴网. 欧盟评估一种海藻糖酶的安全性 [EB/OL]. (2019-7-26). http://news.foodmate.net/2019/07/527870.html

美国豁免粉红螺旋聚孢霉菌株 CR-7 在食品中的残留限量

据美国联邦公报消息,2019 年 8 月 14 日, 美国环保署发布 2019-17309 号条例, 豁免粉红螺旋聚孢霉(Clonostachys rosea)菌株 CR-7 在食品中的残留限量。

[信息来源]食品伙伴网. 美国豁免粉红螺旋聚孢霉菌株 CR-7 在食品中的残留限量 [EB/OL]. (2019-8-15). http://news.foodmate.net/2019/08/530149.html