

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第2期

Vol.33 No.2

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于人体健康风险的水污染事件污染物安全阈值研究	郑丙辉, 罗锦洪, 付青, 秦延文, 胡林林 (337)
基于人体健康风险的水污染事件遗传性致癌物安全浓度研究	罗锦洪, 郑丙辉, 付青, 黄民生 (342)
湿地水环境健康评价方法及案例分析	李玉凤, 刘红玉, 郝敬峰, 郑因, 曹晓 (346)
北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价	单保庆, 菅宇翔, 唐文忠, 张洪 (352)
漳卫南运河流域水质时空变化特征及其污染源识别	徐华山, 徐宗学, 唐芳芳, 于伟东, 程燕平 (359)
黄河三角洲浅层地下水化学特征及形成作用	安乐生, 赵全升, 叶思源, 刘贯群, 丁喜桂 (370)
沉积物扰动持续时间对悬浮物中磷形态数量分布的影响	李大鹏, 黄勇, 李勇, 潘杨 (379)
沉水植物生长期对沉积物和上覆水之间磷迁移的影响	王立志, 王国祥, 俞振飞, 周贝贝, 陈秋敏, 李振国 (385)
长寿湖表层沉积物氮磷和有机质污染特征及评价	卢少勇, 许梦爽, 金相灿, 黄国忠, 胡文 (393)
洪泽湖沉积物中营养盐和重金属的垂向分布特征研究	张文斌, 余辉 (399)
降雨对农家堆肥氮磷流失的影响及其面源污染风险分析	彭莉, 王莉玮, 杨志敏, 陈玉成, 乔俊婧, 赵中金 (407)
浅水湖泊水动力过程对藻型湖区水体生物光学特性的影响	刘笑菡, 冯龙庆, 张运林, 赵林林, 朱梦圆, 时志强, 殷燕, 丁艳青 (412)
基于半分析模型的太湖春季水体漫衰减系数 K_d (490) 估算及其遥感反演	刘忠华, 李云梅, 李瑞云, 吕恒, 檀静, 郭宇龙 (421)
基于 QAA 算法的巢湖悬浮物浓度反演研究	张红, 黄家柱, 李云梅, 徐伟凡, 刘忠华, 徐昕 (429)
好氧/厌氧潜流湿地结构工艺优化	李锋民, 单时, 李媛媛, 李扬, 王震宇 (436)
邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻活性氧自由基的影响	别聪聪, 李锋民, 李媛媛, 王震宇 (442)
Rac-及 S-异丙甲草胺对 2 种微藻毒性特征影响研究	蔡卫丹, 刘惠君, 方治国 (448)
羟基自由基致死船舶压载水海洋有害生物研究	白敏冬, 张拿慧, 张芝涛, 陈操, 孟祥盈 (454)
天然菱铁矿改性及强化除砷研究	赵凯, 郭华明, 李媛, 任燕 (459)
零价铁降解 4-氯硝基苯动力学研究	廖娣劫, 杨琦, 李俊鎔 (469)
水体中氧氟沙星的光化学降解研究	邵萌, 杨桂朋, 张洪海 (476)
阿替洛尔在硝酸根溶液中的光降解研究	季跃飞, 曾超, 孟翠, 杨曦, 高士祥 (481)
吡啶在紫外光辐射下的生物降解	方苗苗, 阎宁, 张永明 (488)
蜜环菌漆酶对蒽醌类染料的脱色条件优化	朱显峰, 秦仁炳, 余晨晨, 范书军 (495)
ϵ -聚赖氨酸生产废菌体对六价铬吸附影响的研究	曹玉娟, 张杨, 夏军, 徐虹, 冯小海 (499)
丝状菌污泥致密过程的强化条件研究	李志华, 孙玮, 姬晓琴, 王晓昌 (505)
亚硝化颗粒污泥对温度变化的响应特性研究	罗远玲, 杨朝晖, 徐峥勇, 周玲君, 黄兢, 肖勇, 曾光明, 汪理科 (511)
我国典型工程机械燃油消耗量及排放清单研究	李东玲, 吴烨, 周昱, 杜让, 傅立新 (518)
北京市 PM_{10} 自动监测网络优化研究	齐玲, 赵越, 谢绍东 (525)
道路绿化带对街道峡谷内污染物扩散的影响研究	徐伟嘉, 幸鸿, 余志 (532)
Fe^{II} (EDTA) 络合协同 RDB 去除 NO 废气效能及过程分析	陈浚, 杨宣, 於建明, 蒋轶锋, 陈建孟 (539)
UV-B 辐射对亚热带森林凋落叶氮、磷元素释放的影响	宋新章, 张慧玲, 江洪, 余树全 (545)
干热河谷林地燥红土固碳特征及“新固定”碳表观稳定性	唐国勇, 李昆, 孙永玉, 张春华 (551)
九龙江河口表层水体及沉积物中甲烷的分布和环境控制因素研究	郭莹莹, 陈坚, 尹希杰, 孙治雷, 邵长伟 (558)
秋季黄河口滨岸潮滩湿地系统 CH_4 通量特征及影响因素研究	姜欢欢, 孙志高, 王玲玲, 牟晓杰, 孙万龙, 宋红丽, 孙文广 (565)
我国典型非木浆造纸二噁英排放研究	王志芳, 丁琼, 王开祥, 吴昌敏, 曲云欢, 赵晓冬 (574)
典型电器工业区河涌沉积物中的多溴联苯醚空间和垂直分布	邱孟德, 邓代永, 余乐洵, 孙国萍, 麦碧娴, 许玫英 (580)
电子废物拆解区农业土壤中多氯联苯的污染特征	王学彤, 李元成, 张媛, 缪绎, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (587)
北京科教园区绿地土壤中多环芳烃的残留特征与潜在风险	彭驰, 王美娥, 欧阳志云, 焦文涛, 陈卫平 (592)
上海城市样带土壤重金属空间变异特征及污染评价	柳云龙, 章立佳, 韩晓非, 庄腾飞, 施振香, 卢小遮 (599)
海河流域北部地区河流沉积物重金属的生态风险评价	尚林源, 孙然好, 王赵明, 汲玉河, 陈利顶 (606)
三峡库区消落带不同水位高程土壤重金属含量及污染评价	王业春, 雷波, 杨三明, 张晟 (612)
超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中细菌群落结构分析	叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝健, 蔡明山, 许燕滨, 占星星 (618)
大庆聚驱后油藏内源微生物群落结构解析与分布特征研究	赵玲侠, 高配科, 曹美娜, 高梦黎, 李国强, 朱旭东, 马挺 (625)
不同碳源刺激对老化污染土壤中 PAHs 降解研究	尹春芹, 蒋新, 王芳, 王聪颖 (633)
应用电致化学发光分子探针技术对微小原甲藻的检测	朱霞, 甄毓, 米铁柱, 于志刚, 池振明, 路兴岚 (640)
软骨藻酸直接竞争 ELISA 方法的建立及优化	王茜, 程金平, 高利利, 董宇, 席磊 (647)
固相萃取-高效液相色谱法同时测定水体中的 10 种磺胺类抗生素	洪蕾洁, 石璐, 张亚雷, 周雪飞, 朱洪光, 林双双 (652)
五氯酚对 HeLa 细胞毒性及 DNA 损伤的研究	金帮明, 王辅明, 熊力, 张晓峰, 刘堰 (658)
建筑陶瓷碳计量与优化模型研究	彭军霞, 赵宇波, 焦丽华, 曾路, 郑为民 (665)
《环境科学》征订启事 (447) 《环境科学》征稿简则 (475) 信息 (524, 586, 605, 624)	

丝状菌污泥致密过程的强化条件研究

李志华, 孙玮, 姬晓琴, 王晓昌

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安 710055)

摘要: 利用强化条件促使丝状菌污泥致密, 是控制丝状菌污泥膨胀的一种新途径。分别采用提高溶解氧、加大表面流体流速、增加进水钙离子浓度、延长饥饿时间等方法从污泥的沉降性能方面探讨了丝状菌污泥在何时致密及怎样致密等问题。结果表明, 加大表面气体流速能够短期内改善污泥的沉降性能, 并且形成丝状菌颗粒污泥, 污泥的 SVI 从膨胀时的 800 mL/g 降低为 350 mL/g, 但长期作用不明显, SVI 在保持了一段时间较低值后, 再次升高到 800 mL/g 以上。增加进水钙离子浓度能够通过形成簇状污泥群落来提高污泥的沉降性能, SVI 值逐渐降低到 300 mL/g, 但是没有形成丝状菌颗粒。提高溶解氧和延长曝气时间在改善污泥沉降性能和丝状菌颗粒化两方面皆无明显效果, 污泥的 SVI 并没有降低。另外, 通过研究网眼椭圆度与污泥 SVI 的关系, 发现具有高椭圆度(椭圆度 O 约为 1.5)的成簇生长丝状菌菌群, 能够改善污泥沉降性能。浸泡实验发现酸性条件对菌丝的凝聚具有破坏作用, 碱性条件和二价阳离子对其影响不显著。

关键词: 丝状菌致密; 丝状菌颗粒; 强化条件; 椭圆度; 污水处理

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)02-0505-06

Investigation on Enhanced Conditions for the Densification of Filamentous Sludge

LI Zhi-hua, SUN Wei, JI Xiao-qin, WANG Xiao-chang

(Key Laboratory of Northwest Water Resources, Environment and Ecology, Ministry of Education, School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: A new approach was investigated for controlling sludge bulking by using enhanced conditions for densification of filamentous sludge. Several methods, including elevated dissolved oxygen, increased superficial velocity, elevated calcium concentration, extended starvation time, have been employed to reveal when and how filamentous sludge could be denser in terms of settleability. It showed that increased superficial velocity improved the settleability and even triggered filamentous granulation in a short term, i. e., sludge volumetric index (SVI) decreased from 800 mL/g to 350 mL/g, and it became less effective in a long term, as the SVI increased to approximately 800 mL/g after a short period of stable operation. Elevated calcium concentration also improved the settleability by clustering the mycelium of filamentous microorganisms, and then SVI decreased to 300 mL/g gradually, but no granulation was observed. However, negligible changes were observed by elevated dissolved oxygen or extended starvation time, as the decrease of SVI value could not be significantly observed. Additionally, relationship between ovality of filamentous mesh and sludge volumetric index was also examined. It was found that the clustered growth that brought about high ovality (approximately 1.5) could improve the settleability. Additionally, acidic condition may damage the mycelium aggregation, and alkaline condition and divalent cation concentration were insignificant for mycelium aggregation.

Key words: filamentous densification; filamentous granules; enhanced condition; ovality; wastewater treatment

活性污泥法是目前应用得最为广泛的一种污水生物处理技术,但是自从活性污泥法问世以来,污泥膨胀一直是困扰人们的难题之一^[1,2]。污泥膨胀分为丝状菌膨胀^[3]和非丝状菌膨胀^[4],在生产实际中,前者最为常见^[2]。如何控制丝状菌污泥膨胀,一直以来是污水处理厂设计、运行管理关注的主要问题。传统的控制技术无一例外地集中在如何抑制丝状菌的生长,其措施包括投加药剂^[5,6],采用微生物选择器^[5,7],调节微生物生长环境等。但由于诱发丝状菌污泥膨胀的原因多种多样^[8],单靠一些抑制其生长的方法来控制污泥膨胀,有时难以达到预期的

效果。课题组在前期研究中提出,当丝状菌大量繁殖时可通过强化措施以达到丝状菌致密生长的目的,从而改善污泥的沉降性能,为控制膨胀提供了全新的思路。近年来,有大量的证据证明丝状菌也可以以聚集度大的絮体甚至颗粒形态成长。例如,往好氧颗粒污泥中接种丝状真菌,在低有机负荷[以 COD

收稿日期: 2011-02-23; 修订日期: 2011-07-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(51078303); 陕西高校省级重点实验室科研计划项目(09JS027); 陕西省青年科技新星项目(2010KJXX-07)

作者简介: 李志华(1976~),男,博士,教授,主要研究方向为废水生物处理技术与理论, E-mail: lizhihua@gmail.com

计,0.5 g·(L·d)⁻¹]下,丝状真菌颗粒逐渐成为优势种群^[9];在高含盐(5%氯化钠)条件下,可形成不同颜色和不同种群占优势的丝状菌颗粒污泥^[9];在较低 pH (pH = 3.0)条件下,葡萄糖为基质的情况下形成丝状菌颗粒^[10].丝状菌能够以聚集度大的情况生长,但丝状菌大量生长到什么程度会导致聚集体解散或颗粒解体^[11],在何种条件下自身会以颗粒形态成长,尚不清楚.为此,本研究在实验室条件下,先以低溶解氧条件诱导丝状菌大量生长,再通过改变各种条件,包括提高溶解氧,加大气体表面流速^[12],增加进水钙离子浓度^[13],延长曝气时间等^[14],研究丝状菌的变化特性及其致密过程,进而明确各种条件对丝状菌致密生长的影响规律.

1 材料与方法

1.1 实验装置及流程

实验反应器内径 5 cm,有效容积 2 L,接种污泥为西安市第四污水厂 A²/O 二沉池回流污泥,接种污泥浓度为 3 570 mg·L⁻¹.接种污泥经筛除沙粒和石子后接种到反应器内.反应器以 SBR 操作模式进行,运行周期 3.5 h,其中进水 5 min,曝气 165 min(后期延长为 250 min),沉淀 20~25 min(为了防止跑泥,沉淀时间根据污泥的沉淀性能而改变),排水 5 min,进水时反应器内不曝气.采用玻璃砂芯从反应器底部曝气,曝气量根据对溶解氧和气体表面流速的不同要求进行过 2 次调整,见表 1.反应器从底部进水,中部排水,每周期进水、排水均为 1 L.反应器控制温度为(25±1)℃.实验配水以乙酸钠和葡萄糖以 2:1 的比例混合作为碳源,氯化铵作为氮源,磷酸二氢钾作为磷源.进水 COD 为 400 mg·L⁻¹,NH₄⁺-N 为 40 mg·L⁻¹,TP 为 26.7 mg·L⁻¹,pH 约为 6.8.

1.2 分析方法

形态观察:采用尼康 N90i 全自动显微镜和数码相机拍照记录丝状菌污泥形态;丝状菌鉴定:采用革兰氏染色法和纳氏染色法染色后,用尼康 N90i 全自动显微镜 100 倍下进行观察,丝状菌的种类鉴定根据文献[15];胞外聚合物的提取及定量分析:胞外聚合物的提取采用磁力搅拌阳离子交换树脂法^[16],提取液中 EPS 的含量由 TOC 及蛋白质和多糖含量来表示.多糖的浓度用蒽酮-硫酸分光光度计法^[17]测定,蛋白的浓度用 Folin 分光光度计法^[18]测定,TOC 浓度采用岛津 TOC 分析仪测定;MLSS 和 SVI 采用标准方法测定^[19];浸泡实验:用到的弱酸缓冲溶液为 pH = 5 的醋酸溶液,弱碱缓冲溶液为 pH = 8 的碳酸钠溶液,EDTA 浸泡溶液为 10 mmol/L 的 EDTA-2Na,三者皆浸泡 24 h 左右.

1.3 丝状菌网眼椭圆度的计算

为了描述丝状菌丝与丝之间的连接程度,本实验引入了“椭圆度”概念,其计算方法为:

$$O = 2 \frac{(a - b)}{a + b} \tag{1}$$

式中,*O* 为椭圆度;*a* 为每一个丝状菌网眼的最长长度(横轴);*b* 为与最长长度垂直的另一最长长度(纵轴).

1.4 表面流速的计算

文中用表面流速来代替传统的气体曝气量,旨在更加明确地表示污泥表面的气体相对流速对丝状菌或丝状菌颗粒污泥聚集程度的影响,表面流速的值为流量计控制的曝气量与反应器截面积(直径为 5 cm 的圆形截面)的比.

2 结果与讨论

2.1 丝状菌颗粒污泥的形成和解体过程

反应器的运行控制条件如表 1 所示,各阶段污泥形态变化如图 1 所示.

表 1 运行条件控制
Table 1 Operating condition

运行阶段/d	溶解氧 /mg·L ⁻¹	曝气形式	表面流速 /cm·s ⁻¹	Ca ²⁺ 浓度 /mg·L ⁻¹	曝气时间 /min
0~11	2	间歇曝气 ¹⁾	0.14	14	165
12~18(丝状菌恶性膨胀)	5	全程曝气	0.14	14	165
19~63(丝状菌形成颗粒)	8	全程曝气	0.34	14	165
64~120(进水钙离子增加)	8	全程曝气	0.34	28	165
121~130(延长曝气)	8	全程曝气	0.34	28	250

1) 第一阶段的间歇曝气为程序操控空气压缩机自动开启和关闭,在曝气阶段内,开启时间 60 s,关闭时间 45 s

接种污泥为普通的活性污泥,只有少量的丝状菌存在,并不占优势.反应器在间歇曝气条件

控制的低溶解氧条件下运行 12 d 后,出现大量丝状菌,当即将间歇曝气改为全程曝气,旨在提高

反应器内的溶解氧. 在运行一周后,丝状菌膨胀并没有得到改善,反应器内仍有大量丝状菌[图 1(b)],故在 18 d,提高了反应器的曝气量,气体的表面流速由 $0.14\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 提高为 $0.34\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$,在这一条件下运行到 29 d 反应器内出现直径较大且松散的丝状菌颗粒[图 1(c) 和 1(d)],形成颗粒后,污泥的沉降性能开始好转. 然而,在丝状菌颗粒污泥稳定存在运行到 50 d 左右,开始出

现逐步解体现象[图 1(e)]. 为了控制这种现象继续发展,在 64 d 将进水钙离子浓度提高 1 倍,运行一段时间后,发现污泥出现丝状菌成簇生长的现象[图 1(f) 和 1(g)],虽然沉降性能逐渐变好,但是未见颗粒形成,丝状菌仍旧大量存在. 为了研究曝气时间对丝状菌生长的影响,在 121 d 将曝气时间由 165 min 延长为 250 min,成簇生长更加明显[图 1(h)].

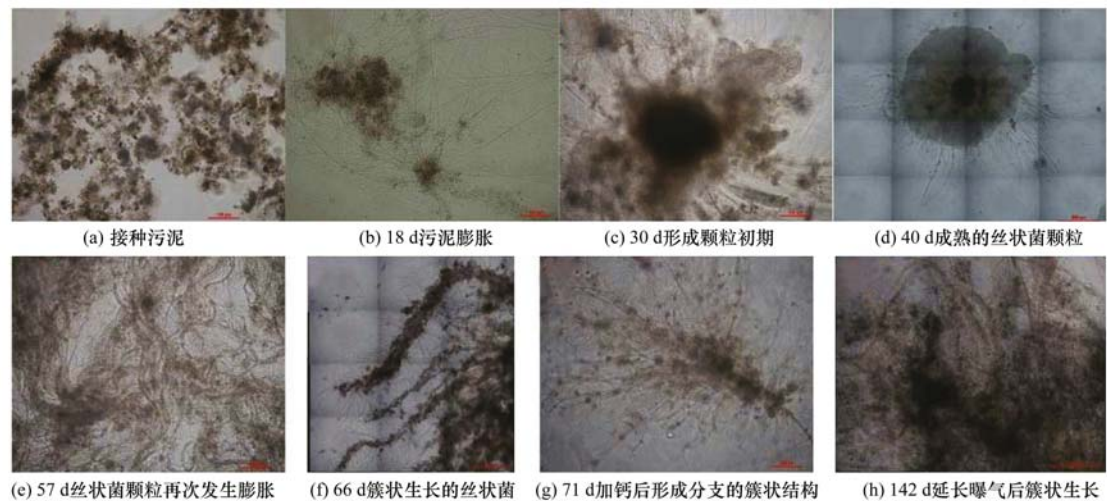


图 1 丝状菌污泥的显微镜照片
Fig. 1 Microscopic observation of sludge

2.2 不同方法对沉降性能的影响比较

本实验中根据不同阶段丝状菌发生的改变,经历了 4 次条件上的改变,分别是:①提高溶解氧,②加大表面流速,③增加进水钙离子浓度,④延长曝气时间. 这 4 种方法,都旨在丝状菌发生肆虐生长后,在不同阶段利用以上方法从各个方面来改善丝状菌的成长结构,进而改善其沉淀性能.

由图 2 可以看出,在 11 d 污泥中开始出现丝状菌后,SVI 开始升高,且出现了严重的跑泥现象导致污泥浓度下降;在 12 d 提高溶解氧后,SVI 仍然在增加,污泥浓度也持续下降;在 19 d 加大曝气量以提高液体表面流速,SVI 下降,并且在 29 d 出现明显的丝状菌颗粒,SVI 下降较明显,且稳定保持在 $300\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 左右,污泥的 MLSS 也保持稳定,并且有小幅度的增加,保持在 $1\,000\sim1\,500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右. 但是伴随着剪切力的作用,松散的丝状菌颗粒开始出现解体现象,丝状菌重新回到絮体形态,SVI 也一度高达 $900\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 左右,由于沉降性能下降,污泥的 MLSS 也急剧下降;在 63 d 为了控制这种情况,将进水中的钙离子浓度加大 1 倍,在以后的 40 d 时间

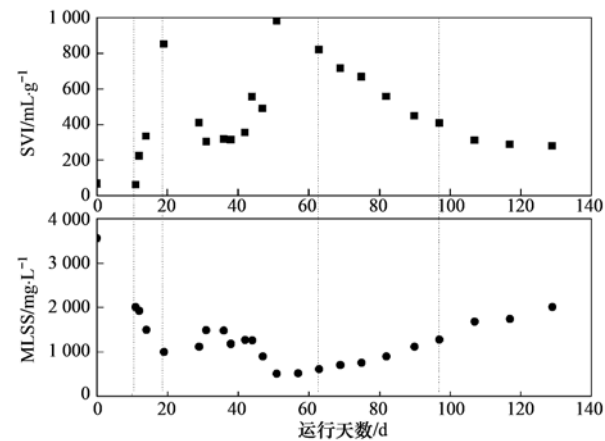


图 2 污泥浓度和 SVI 随时间的改变
Fig. 2 Variations of sludge concentration and SVI

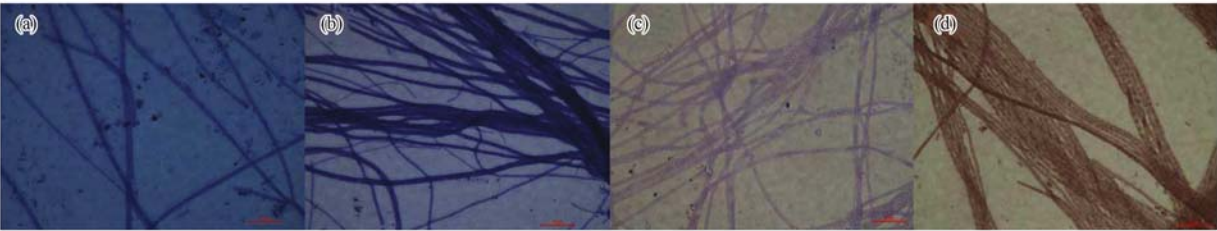
内,SVI 缓慢下降,MLSS 也有所回升;延长曝气后,情况变化不大,SVI 没有太大波动,污泥形态也没有太大变化.

通过对以上现象的分析,可以推断在丝状菌污泥发生恶性生长时,采用提高溶解氧的方法无法改善污泥的沉降性能;提高气体表面上升流速,在短

期内可以控制污泥膨胀,使沉降性能有所好转,并且形成了丝状菌颗粒污泥,但无法长久维持稳定,较高的表面流速会很快的摧毁脆弱的丝状菌颗粒;而提高进水钙离子浓度,能够通过形成簇状的污泥群落来提高污泥的沉降性能,但是没有形成丝状菌颗粒;延长曝气时间即增加微生物的饥饿时间,在改善沉降性能和促进菌丝体致密化成长两方面均收效甚微.

2.3 各阶段不同优势种群丝状菌椭圆度的研究

随着反应器运行条件的改变,各个阶段丝状菌的优势菌种也有所不同(图3).在实验前期 Type 1851 为优势菌种 [图3(a)和3(b)]直至形成颗粒污泥,Type 1851 是一种常见的丝状菌污泥,长度在 50~200 μm 左右,细胞形状为矩形,革兰氏染色为阳性^[20].当颗粒污泥解体后,逐渐演变成 *Nostocoida limicola* II 为优势菌群 [图3(c)和3(d)],*Nostocoida limicola* II 的长度在 50~200 μm 左右,细胞形状为圆形,无鞘.



(a)13 d 革兰氏染色,优势菌种为 Type 1851; (b)33 d 革兰氏染色,优势菌种为 Type 1851;
(c)51 d 革兰氏染色,优势菌种为 *Nostocoida limicola* II; (d)102 d 纳氏染色,优势菌种为 *Nostocoida limicola* II

图3 丝状菌染色实验的显微镜照片

Fig. 3 Microscopic observation of filamentous organisms after staining

从表2可以看出,菌丝体所形成网眼的椭圆度与沉淀性能 SVI 具有一定的相关性,即菌丝体网眼椭圆度高,污泥沉淀性能好.而 EPS 在不同的操作条件下有所不同,但与污泥沉淀性能无明

显关系.以上结果表明对于丝状菌大量存在的微生物聚集体,丝状菌菌丝体的网眼结构是影响污泥沉淀性能的关键因子,而其表面化学特性的影响不明显.

表2 丝状菌孔洞的椭圆度和污泥的沉降性能

Table 2 Ovality of meshes formed by filaments and settleability of sludge

时间 /d	优势菌种	椭圆度±偏差 (分析样品数)	SVI /mL·g ⁻¹	疏松 EPS/mg·g ⁻¹		紧密 EPS/mg·g ⁻¹	
				蛋白质	总糖	蛋白质	总糖
0~11	无	—	60~70	62.4	7.0	73.8	7.8
12~18(丝状菌恶性膨胀)	Type 1851	1.04±0.29(<i>n</i> =54)	400~800	42.2	10.4	109.8	18.5
19~63(丝状菌形成颗粒)	Type 1851	1.46±0.27(<i>n</i> =53)	300~400	84.9	16.7	121.2	13.4
	<i>Nostocoida limicola</i> II	0.71±0.28(<i>n</i> =54)	>500	26.5	3.0	68.4	5.0
64~120(加钙后)	<i>Nostocoida limicola</i> II	1.51±0.21(<i>n</i> =45)	300~400	74.6	7.78	149.9	8.9
121~130(延长曝气)	<i>Nostocoida limicola</i> II	1.60±0.14(<i>n</i> =64)	300~350	122.9	10.8	161.5	12.9

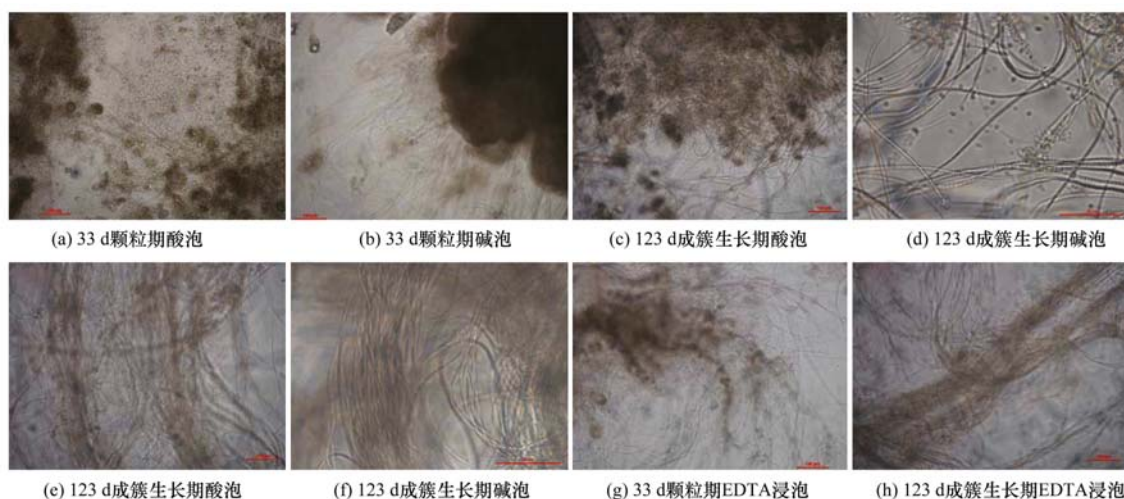
菌丝网眼的椭圆度越大,表明该孔洞越狭长,换言之,两丝之间越贴近于平行或者交缠生长.从表2可以看出提高剪切力(气体表面上升流速)可有效提高菌丝网眼的椭圆度.在本实验中强大的剪切力使得 Type 1851 丝与丝直接的连接更加紧密,从而导致网眼的椭圆度增大,伴随着活性污泥 SVI 的下降,为后期形成丝状菌颗粒创造了良好的条件.在丝状菌颗粒稳定后期和颗粒解体后,*Nostocoida limicola* II 成为优势菌种,通过表2看出,*Nostocoida limicola* II 形成初期的椭圆度非常小,相对应的污泥沉降性能也很差,SVI 高达 980 mL·g⁻¹,而在加钙后

一段时间,椭圆度增大,SVI 下降,沉降性能好转,表明加钙同样有利于提高网眼的椭圆度.

2.4 pH 和钙离子对丝状菌连接作用的研究

菌丝表面的化学物质(如 EPS 等)和表面化学特性(如表面电荷、疏水性等)是影响菌丝聚集的重要因素,本研究采用改变化学环境(pH 和二价阳离子)的方法来考察菌丝的这一特性^[21].分别采用弱酸弱碱溶液浸泡的方法和添加 EDTA 的方法来研究 pH 和二价阳离子的影响,如图4所示.

研究分析了丝状菌2个阶段化学环境的影响即丝状菌形成颗粒初期和丝状菌颗粒解体后期.在丝



(a)、(b)、(c)、(e)、(g)、(h)的标尺为100 μm; (d)、(f)的标尺为50 μm

图4 酸碱浸泡后的显微镜照片

Fig.4 Microscopic observation meshes after dipping in acid and alkaline solution

状菌形成颗粒初期,颗粒在酸性条件下消失[图4(a)],即酸性条件对菌丝的凝聚具有破坏作用;弱碱浸泡后,丝状菌菌丝结构影响不明显,仍然能够在显微镜照片中看到密实的丝状菌颗粒[图4(b)].在丝状菌颗粒解体后期,酸性条件导致丝状菌的成簇生长消失[图4(c)和4(d)],而碱性条件影响不大[图4(e)和4(f)];而无论是在丝状菌颗粒期或解体期,EDTA浸泡后,丝状菌之间的连接几乎没有变化[图4(g)和4(h)],表明二价阳离子对菌丝的凝聚不明显.

3 结论

(1)本实验中增加气体表面流速即增大流体对丝状菌的剪切力,使其更易于缠绕生长,能够在短时间内促进丝状菌致密,从而控制丝状菌的膨胀,但是在形成颗粒后过大的剪切力反而不利于丝状菌的进一步致密,将刚刚形成的丝状菌缠绕结构破坏,故考虑在初步形成丝状菌致密的聚集体后,改变外部条件来促使其致密.进水基质加钙后,通过成簇结构来促进丝状菌致密从而改善污泥的沉降性能,但是导致丝状菌成簇生长的原因仍需要商讨.

(2)本实验中引入椭圆度这一概念,椭圆度可以表征丝状菌丝与丝之间形成网眼的形状,椭圆度的大小也可以从另一个方面反映丝之间的致密情况,值越大则越致密.本实验中提高剪切力和加钙都有利于网眼椭圆度的升高,而椭圆度也与丝状菌污泥的SVI呈负相关,高椭圆度成簇生长的出现与污泥的沉降性能和丝状菌的致密有着密切的联系.

(3)丝状菌菌丝体的表面特性对其致密有一定影响,酸性条件对丝状菌的凝聚结构破坏较大,而碱性环境和二价阳离子影响不大.

参考文献:

- [1] 李志华, 刘芳, 王晓昌. 影响微生物聚集体的聚集度的因素分析[J]. 环境科学学报, 2010, 30(3): 456-462.
- [2] Martins A M P, Paqilla K, Heijnen J J, *et al.* Filamentous bulking sludge-a critical review[J]. Water Research, 2004, 38(4): 793-817.
- [3] Nielsen P H, Kragelund C, Seviour R J, *et al.* Identity and ecophysiology of filamentous bacteria in activated sludge[J]. FEMS Microbiology Reviews, 2009, 33(6): 969-998.
- [4] Krhutkova O, Ruzickova I, Wanner J. Microbial evaluation of activated sludge and filamentous population at eight Czech nutrient removal activated sludge plants during year 2000[J]. Water Science Technology, 2002, 46(1-2): 471-478.
- [5] 周利, 彭永臻, 黄志, 等. 丝状菌污泥膨胀的影响因素与控制[J]. 环境科学进展, 1999, 7(1): 88-93.
- [6] Goldwyn P L, Saseetharan M K, Jayanthi J. Effect of chlorine in controlling the filamentous bulking in dairy activated sludge and its settling characteristics[J]. Journal of Environment Science and Engineering, 2010, 52(3): 205-212.
- [7] Kotay S M, Datta T, Choi J, *et al.* Biocontrol of biomass bulking caused by *Haliscomenobacter hydrossis* using a newly isolated lytic bacteriophage[J]. Water Research, 2011, 45(2): 694-704.
- [8] 巫晶晶, 陈素艳, 邓清莲, 等. 污泥膨胀的诱因及控制措施[J]. 净水技术, 2010, 25(1): 49-52.
- [9] Li Z H, Zhang T, Li N, *et al.* Granulation of filamentous microorganisms in a sequencing batch reactor with saline wastewater[J]. Environmental Sciences, 2010, 22(1): 62-67.

- [10] Yang S F, Li X Y, Yu H Q. Formation and characterisation of fungal and bacterial granules under different feeding alkalinity and pH conditions [J]. *Process Biochemistry*, 2008, **43**(1): 8-14.
- [11] Liu Y, Liu Q S. Causes and control of filamentous growth in aerobic granular sludge sequencing batch reactors [J]. *Biotechnology Advances*, 2006, **24**(1): 115-127.
- [12] 王超, 郑晓英. 剪切应力对好氧颗粒污泥形态结构和微生物活性的影响机制研究 [J]. *环境科学*, 2008, **29**(8): 2235-2241.
- [13] 杨新萍, 韩娇, 周立祥. Ca^{2+} 在好氧颗粒污泥形成中的作用 [J]. *环境科学*, 2010, **31**(5): 1269-1273.
- [14] Pijuan M, Werner U, Yuan Z G. Effect of long term anaerobic and intermittent anaerobic/aerobic starvation on aerobic granules [J]. *Water Research*, 2009, **43**(14): 3622-3632.
- [15] Eikelboom D H. Filamentous organisms observed in activate sludge [J]. *Water Research*, 1975, **8**(1): 201-208.
- [16] Frolund B, Palmgren R, Keiding K, *et al.* Extraction of extracellular polymers from activated sludge using a cation exchange resin [J]. *Water Research*, 1996, **30**(8): 1749-1758.
- [17] Reddy C A, Beveridge T J. *Methods for general and molecular bacteriology* [M]. (3rd). Washington DC: ASM Press, 2007.
- [18] Frolund B, Griebe T, Nielsen P H. Enzymatic activity in the activated-sludge floc matrix [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1995, **43**(4): 755-761.
- [19] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [20] Jenkins D, Richard M G, Daigger G T. *Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems* [M]. (3rd). London: Intl Water Assn, 2004.
- [21] 丁峰, 彭永臻, 支霞辉. SBR 法处理工业废水中 pH 值对污泥膨胀的影响 [J]. *环境工程*, 2004, **22**(1): 29-32.

CONTENTS

Safety Value of Contaminant in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk	ZHENG Bing-hui, LUO Jin-hong, FU Qing, <i>et al.</i> (337)
Safety Concentration of Genotoxic Carcinogens in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk	LUO Jin-hong, ZHENG Bing-hui, FU Qing, <i>et al.</i> (342)
A Quantitative Method and Case Analysis for Assessing Water Health	LI Yu-feng, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (346)
Temporal and Spatial Variation of Nitrogen and Phosphorus and Eutrophication Assessment in Downstream River Network Areas of North Canal River Watershed ...	SHAN Bao-qing, JIAN Yu-xiang, TANG Wen-zhong, <i>et al.</i> (352)
Spatiotemporal Variation Analysis and Identification of Water Pollution Sources in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, TANG Fang-fang, <i>et al.</i> (359)
Hydrochemical Characteristics and Formation Mechanism of Shallow Groundwater in the Yellow River Delta	AN Le-sheng, ZHAO Quan-sheng, YE Si-yuan, <i>et al.</i> (370)
Impacts of Sediment Disturbance Time on the Distribution of Phosphorus Forms in Suspended Solids	LI Da-peng, HUANG Yong, LI Yong, <i>et al.</i> (379)
Influence of Submerged Macrophytes on Phosphorus Transference Between Sediment and Overlying Water in the Growth Period	WANG Li-zhi, WANG Guo-xiang, YU Zhen-fei, <i>et al.</i> (385)
Pollution Characteristics and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments of Lake Changshouhu in Chongqing, China	LU Shao-yong, XU Meng-shuang, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (393)
Vertical Distribution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Lake Hongze	ZHANG Wen-bin, YU Hui (399)
Effects of Rainfall on Nitrogen and Phosphorus Loss from Courtyard Compost and Its Risk of Nonpoint Source Pollution	PENG Li, WANG Li-wei, YANG Zhi-min, <i>et al.</i> (407)
Effects of Hydrodynamic Process on Bio-optical Properties in Algal-Dominated Lake Region of Shallow Lake	LIU Xiao-han, FENG Long-qing, ZHANG Yun-lin, <i>et al.</i> (412)
Estimation and Remote Sensing Inversion of Diffuse Attenuation Coefficient $K_d(490)$ in Lake Taihu in Spring Based on Semi-analytical Model	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, LI Rui-yun, <i>et al.</i> (421)
Monitoring the Total Suspended Matter of Lake Chaohu Based on Quasi-Analytical Algorithm	ZHANG Hong, HUANG Jia-zhu, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (429)
Optimization of Aerobic/Anaerobic Subsurface Flow Constructed Wetlands	LI Feng-min, SHAN Shi, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (436)
Effects of Allelochemical Dibutyl Phthalate on <i>Gymnodinium breve</i> Reactive Oxygen Species	BIE Cong-cong, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (442)
Toxicity Effects of <i>Rac</i> - and <i>S</i> -Metolachlor on Two Algae	CAI Wei-dan, LIU Hui-jun, FANG Zhi-guo (448)
Studies for Killing the Oceanic Harmful Organisms in Ship's Ballast Water Using Hydroxyl Radicals	BAI Min-dong, ZHANG Na-hui, ZHANG Zhi-tao, <i>et al.</i> (454)
Modification of Natural Siderite and Enhanced Adsorption of Arsenic	ZHAO Kai, GUO Hua-ming, LI Yuan, <i>et al.</i> (459)
Kinetic Study of 4-Chloronitrobenzene Degradation by Zero-Valent Iron	LIAO Di-jie, YANG Qi, LEE Chun-chi (469)
Photochemical Degradation of Ofloxacin in Aqueous Solution	SHAO Meng, YANG Gui-peng, ZHANG Hong-hai (476)
Photodegradation of Atenolol in Aqueous Nitrate Solution	JI Yue-fei, ZENG Chao, MENG Cui, <i>et al.</i> (481)
Biodegradation of Pyridine Under UV Irradiation	FANG Miao-miao, YAN Ning, ZHANG Yong-ming (488)
Optimization on Decoloration Conditions of Anthraquinone Dyes by Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	ZHU Xian-feng, QIN Ren-bing, YU Chen-chen, <i>et al.</i> (495)
Biosorption of Chromium(VI) by Waste Biomass of ϵ -Poly-L-lysine Fermentation	CAO Yu-juan, ZHANG Yang, XIA Jun, <i>et al.</i> (499)
Investigation on Enhanced Conditions for the Densification of Filamentous Sludge	LI Zhi-hua, SUN Wei, JI Xiao-qin, <i>et al.</i> (505)
Effect of Temperature on the Response Characteristics of Shortcut Nitrification Granular Sludge	LUO Yuan-ling, YANG Zhao-hui, XU Zheng-yong, <i>et al.</i> (511)
Fuel Consumption and Emission Inventory of Typical Construction Equipments in China	LI Dong-ling, WU Ye, ZHOU Yu, <i>et al.</i> (518)
Optimization of PM ₁₀ Monitoring Network in Beijing	QI Ling, ZHAO Yue, XIE Shao-dong (525)
Effect of Greenbelt on Pollutant Dispersion in Street Canyon	XU Wei-jia, XING Hong, YU Zhi (532)
Investigation of Effect and Process of Nitric Oxide Removal in Rotating Drum Biofilter Coupled with Absorption by Fe ^{II} (EDTA)	CHEN Jun, YANG Xuan, YU Jian-ming, <i>et al.</i> (539)
Effect of UV-B Radiation on Release of Nitrogen and Phosphorus from Leaf Litter in Subtropical Region in China	SONG Xin-zhang, ZHANG Hui-ling, JIANG Hong, <i>et al.</i> (545)
Characteristics of Carbon Sequestration and Apparent Stability of New Sequestered Carbon in Forested Torrid Red Soil at Dry-Hot Valley	TANG Guo-yong, LI Kun, SUN Yong-yu, <i>et al.</i> (551)
Spatial Distribution of Methane in Surface Water and Sediment of Jiulongjiang Estuary and the Effect Environment factors of It	GUO Ying-ying, CHEN Jian, YIN Xi-jie, <i>et al.</i> (558)
Methane Fluxes and Controlling Factors in the Intertidal Zone of the Yellow River Estuary in Autumn	JIANG Huan-huan, SUN Zhi-gao, WANG Ling-ling, <i>et al.</i> (565)
Study on Dioxin Emission for Typical Non-Wood Pulp Making in China	WANG Zhi-fang, DING Qiong, WANG Kai-xiang, <i>et al.</i> (574)
Horizontal and Vertical Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediment from a Typical Electrical Equipment Industrial Area	QIU Meng-de, DENG Dai-yong, YU Le-huan, <i>et al.</i> (580)
Characteristics of Polychlorinated Biphenyls in Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (587)
Characterization and Potential Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Green Space Soils of Educational Areas in Beijing	PENG Chi, WANG Mei-e, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (592)
Spatial Variability and Evaluation of Soil Heavy Metal Contamination in the Urban-transect of Shanghai	LIU Yun-long, ZHANG Li-jia, HAN Xiao-fei, <i>et al.</i> (599)
Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of Rivers in Northern Area of Haihe River Basin, China	SHANG Lin-yuan, SUN Ran-hao, WANG Zhao-ming, <i>et al.</i> (606)
Concentrations and Pollution Assessment of Soil Heavy Metals at Different Water-level Altitudes in the Draw-down Areas of the Three Gorges Reservoir	WANG Ye-chun, LEI Bo, YANG San-ming, <i>et al.</i> (612)
Analysis of Community Structure on Sludge Aerobic/anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (618)
Research on Population Structure and Distribution Characteristic of Indigenous Microorganism in Post-polymer-Flooding Oil Reservoir	ZHAO Ling-xia, GAO Pei-ke, CAO Mei-na, <i>et al.</i> (625)
Study on Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) with Different Additional Carbon Sources in Aged Contaminated Soil	YIN Chun-qin, JIANG Xin, WANG Fang, <i>et al.</i> (633)
Detection of <i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) Schiller with the Electrochemiluminescence-Molecular Probe	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (640)
Development of Direct Competitive Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for the Determination of Domoic Acid	WANG Qian, CHENG Jin-ping, GAO Li-li, <i>et al.</i> (647)
Simultaneous Determination of 10 Sulfonamide Antibiotics in Water by Solid-phase Extraction and High Performance Liquid Chromatography	HONG Lei-jie, SHI Lu, ZHANG Ya-lei, <i>et al.</i> (652)
Effects of Pentachlorophenol on DNA Damage and Cytotoxicity of HeLa Cells	JIN Bang-ming, WANG Fu-ming, XIONG Li, <i>et al.</i> (658)
Modeling of Carbon Dioxide Measurement and Optimization on Building Ceramic Industry	PENG Jun-xia, ZHAO Yu-bo, JIAO Li-hua, <i>et al.</i> (665)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年2月15日 33卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 2 Feb. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧 阳 自 远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行