

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第3期

Vol.34 No.3

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

BP网络框架下MODIS气溶胶光学厚度产品估算中国东部PM _{2.5}	郭建平, 吴业荣, 张小曳, 李小微 (817)
北京市近地层颗粒物浓度与气溶胶光学厚度相关性分析研究	林海峰, 辛金元, 张文煜, 王跃思, 刘子锐, 陈传雷 (826)
气象因素对长三角背景地区甲烷浓度的影响分析	浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 马千里, 方双喜, 周凌晔 (835)
密闭化填埋作业条件下的场内恶臭污染分布情况与分析	路鹏, 吴世新, 戴志锋, 张晓辉, 苏昭辉, 周小飞, 代占国, 卢旭飞, 郑斌, 沈凯, 卫潘明 (842)
冬季中国东海海水中挥发性卤代烃的分布特征和海-气通量	何真, 陆小兰, 杨桂朋 (849)
2000~2010年大鹏湾颗粒有机物的年变化和年际变化	李绪录, 周毅频, 夏华永 (857)
渤海湾浮游植物与环境因子关系的多元分析	周然, 彭士涛, 覃雪波, 石洪华, 丁德文 (864)
青藏高原淡水湖泊水化学组成特征及其演化	王鹏, 尚英男, 沈立成, 伍坤宇, 肖琼 (874)
漳卫南运河流域非点源污染负荷估算及最佳管理措施优选	徐华山, 徐宗学, 刘品 (882)
面向对象的湖泊污染控制智能工程设计方法	邹锐, 周璟, 刘永, 朱翔, 赵磊, 阳平坚, 郭怀成 (892)
九龙江口湿地植物凋落物对沉积物有机质赋存的贡献	罗专溪, 邱昭政, 王振红, 颜昌宙 (900)
修复达标土壤回填对地下水环境影响的层次化评估方法应用研究	钟茂生, 姜林, 姚珏君, 樊艳玲, 夏天翔, 李婷婷, 田美影 (907)
去除地下水中硝酸盐的渗透性反应墙研究	李秀利, 杨君君, 卢晓霞, 张姝, 侯珍 (914)
北京城区雨水管道沉积物污染负荷研究	李海燕, 徐波平, 徐尚玲, 崔爽 (919)
城市污水处理厂及其受纳水体中5种典型PPCPs的赋存特征和生态风险	温智皓, 段艳平, 孟祥周, 陈玲 (927)
城市景观娱乐水体微生物风险评价	孙傅, 沙婧, 张一帆, 刘彦华 (933)
模拟曝气生物滤池去除邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯试验研究	李伟, 赵晶, 余健, 任文辉 (943)
膜生物反应器处理工业废水中膜污染及膜过滤特性研究	范举红, 余素林, 张培帅, 兰亚琼, 刘锐, 陈吕军 (950)
γ -Al ₂ O ₃ 负载磷钨酸催化强化电催化法处理水中酸性大红3R的研究	岳琳, 王开红, 郭建博, 杨景亮, 刘宝友, 廉静, 王涛 (955)
活性炭催化过硫酸钠降解金橙G动力学	杨梅梅, 周少奇, 刘琳, 郑可 (962)
ABR反应器处理碱减量印染废水的启动研究	杨波, 钟启俊, 李方, 田晴 (968)
O ₃ -BAF深度处理制革废水中沿程污染物降解规律	余彬, 刘锐, 程家迪, 范举红, 李昌湖, 冉坤, 曹国华, 陈吕军 (974)
规模化猪场养殖废水UASB-SFSBR-MAP处理工艺中试研究	王亮, 陈重军, 陈英旭, 吴伟祥 (979)
连续流态下以城市污水培养好氧颗粒污泥及颗粒特性研究	牛姝, 段百川, 张祚薰, 刘士峰, 张家铭, 王聪, 周丹丹 (986)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅰ)——模型的建立	张超, 陈银广 (993)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅱ)——动力学模拟	张超, 陈银广 (998)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅲ)——模型的应用	张超, 陈银广 (1004)
三峡水库两条支流水-气界面CO ₂ 、CH ₄ 通量比较初探	李哲, 白镭, 郭劲松, 方芳, 蒋滔 (1008)
不同土地利用方式下土壤呼吸空间变异的影响因素	陈书涛, 刘巧辉, 胡正华, 刘艳, 任景全, 谢薇 (1017)
黄土区农田和草地生态系统土壤呼吸差异及其影响因素	周小刚, 张彦军, 南雅芳, 刘庆芳, 郭胜利 (1026)
层次化健康风险评估方法在苯污染场地的应用及效益评估	姜林, 钟茂生, 梁竞, 姚珏君, 夏天翔, 樊艳玲, 李敬东, 唐振强 (1034)
海州湾滩涂重金属污染的历史记录	张瑞, 张帆, 刘付程, 尹福军, 丁迎军, 高金荣, 陈晶, 邵威 (1044)
草海典型高原湿地表层沉积物重金属的积累、分布与污染评价	张清海, 林昌虎, 谭红, 林绍霞, 杨鸿波 (1055)
大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析	程芳, 程金平, 桑恒春, 于金莲, 席磊, 皮帅帅 (1062)
典型有色金属矿山城市小河流沉积物重金属形态分布及风险评估	李如忠, 姜艳敏, 潘成荣, 陈婧, 徐晶晶 (1067)
典型有色金属矿业城市零星菜地蔬菜重金属污染及健康风险评估	李如忠, 潘成荣, 徐晶晶, 陈婧, 姜艳敏 (1076)
城市表层土壤磁化率与重金属含量分布的相关性研究	陈秀端, 卢新卫, 杨光 (1086)
典型热带林地土壤团聚体颗粒中重金属的分布特征及其环境意义	龚仓, 徐殿斗, 成杭新, 任雅阁, 刘志明, 刘应汉, 刘飞, 聂海峰, 郑祥, 马玲玲 (1094)
生态沟渠底泥属性与磷吸附特性研究	张树楠, 贾兆月, 肖润林, 杨凤飞, 余红兵, 刘锋, 吴金水 (1101)
三峡库区澎溪河底泥及消落区土壤磷的形态及吸附特性研究	孙文彬, 杜斌, 赵秀兰, 何丙辉 (1107)
Triton X-100在黄土上的吸附行为及影响因素	钟金魁, 赵保卫, 朱琨, 钱小龙, 张杰西 (1114)
新疆哈密地区有机氯农药大气、土壤残留特征、气-土交换及潜在生态风险	马子龙, 毛蒲萱, 丁中原, 高宏, 黄韬, 田慧, 郭强 (1120)
青海省西宁市与天峻县大气中得克隆与十溴联苯醚的水平与来源	何畅, 金军, 马召辉, 王英, 扎西卓玛, 马丽花 (1129)
太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平垂直分布	马召辉, 金军, 元学奎, 王英, 姜霞, 何松洁, 李明圆 (1136)
典型电器工业区河涌沉积物中有机污染物特征分析	刘近, 邓代永, 许玫英, 孙国萍 (1142)
柴油轿车颗粒多环芳烃的排放特性	谭丕强, 周舟, 胡志远, 楼狄明 (1150)
机械炼焦过程生成飞灰中多环芳烃分布特征研究	牟玲, 彭林, 刘效峰, 白慧玲, 张建强 (1156)
污泥干化床与芦苇床稳定化污泥中多环芳烃的含量比较	崔玉波, 孙红杰, 冉春秋, 李金凤, 谢瑶 (1161)
固体添加剂对污泥焚烧过程中重金属迁移行为的影响	刘敬勇, 孙水裕, 陈涛 (1166)
铸造废砂的环境毒性研究	张海凤, 王玉珏, 王劲磷, 黄天佑, 熊鹰 (1174)
Cr ⁶⁺ 生物可利用度检测的微生物全细胞传感器CB10的构建及其响应特征	侯启会, 马安周, 庄绪亮, 庄国强 (1181)
反硝化脱硫工艺中微生物群落结构及动态分析	于皓, 王爱杰, 陈川 (1190)
农业废物好氧堆肥中环境因子对nirK、nirS和nosZ数量的影响	胡春晓, 陈耀宁, 张嘉超, 唐聪, 曾光明 (1196)
蚯蚓体内过氧化物还原蛋白PRDX基因对土壤PAHs污染胁迫的转录响应	林康丽, 郑森林, 宋玉芳, 邱晓燕, 薛文玲 (1204)
有序介孔碳载金/L-赖氨酸/纳米金修饰电极的制备及其对邻苯二酚、对苯二酚的检测响应研究	周耀渝, 汤琳, 李贞, 刘媛媛, 杨贵德, 伍梦诗, 雷晓霞, 曾光明 (1211)
新建核电站风险信息沟通实证研究	贺桂珍, 吕永龙 (1218)
《环境科学》征订启事(942) 《环境科学》征稿简则(992) 信息(932, 949, 1061, 1210) 专辑征稿通知(1173)	

乙酸/丙酸作为 EBPR 碳源的动力学模型研究(II)——动力学模拟

张超^{1,2}, 陈银广²

(1. 石油化工科学研究院, 中国石化水处理中心, 北京 100083; 2. 同济大学环境科学与工程学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 以乙酸和丙酸作为混合碳源, 采用 2 组序批式反应器(SBR)研究聚磷菌(PAO)和聚糖菌(GAO)代谢过程中的物质转化规律. PAO 和 GAO 动力学模型共包含 7 个计量学参数和 24 个动力学参数. 根据计量学方程, 推导了 PAO 和 GAO 动力学模型中的计量学参数. 结合试验结果, 确定了动力学参数的取值. 采用 Matlab 软件积分计算了 PAO 和 GAO 胞内物质的变化规律. SBR 运行的实际值与模拟值相吻合, 表明基于 SCFAs 代谢的动力学模型能够很好地模拟 PAO 和 GAO 的好氧/厌氧代谢过程.

关键词: 聚磷菌; 聚糖菌; 计量学参数; 动力学参数; 动力学模拟

中图分类号: X11 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)03-0998-06

Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (II) : Process Simulation

ZHANG Chao^{1,2}, CHEN Yin-guang²

(1. Water Treatment Center of SINOPEC, Research Institute of Petroleum Processing, Beijing 100083, China; 2. State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Two groups of sequencing batch reactors were used to study the metabolism substrate transformation of phosphorus-accumulating organisms (PAO) and glycogen-accumulating organisms (GAO) fed with mixed acetic and propionic acids. Seven stoichiometry parameters and 24 kinetic parameters were contained in the PAO and GAO kinetic model, and stoichiometry parameters were deduced from the stoichiometry models, while kinetic parameters were determined by experimental results. The kinetic model parameters of stoichiometry and kinetics were determined according the experiments and the literature. Subsequently, the substrate transformations of PAO and GAO were calculated by the Matlab software. The model curves matched the SBR experimental data well, indicating that the kinetic model based on SCFAs metabolism could be used to simulate PAO and GAO in anaerobic-aerobic conditions.

Key words: phosphorus-accumulating organisms (PAO); glycogen-accumulating organisms (GAO); stoichiometry parameters; kinetic parameters; kinetic model

活性污泥模型的验证是新模型推出过程中必不可少的工作. 模型验证分为实验室验证和现场验证, 与现场验证相比, 实验室验证获取的模型参数受外界干扰较小, 而且由于物种纯度高, 能够反映其真实代谢规律. 课题组之前建立了基于 SCFAs 代谢的聚磷菌(PAO)和聚糖菌(GAO)动力学模型^[1], 为了确定模型参数、检验模型的可靠性, 本研究采用序批式反应器(sequencing batch reactor, SBR)研究混合碳源对 PAO 和 GAO 代谢动力学的影响.

1 试验方法与试验结果

采用 2 组序批式反应器, 包括 5 个 PAO-SBR 和 5 个 GAO-SBR. 每组反应器分别采用 5 个不同乙酸/丙酸比例(乙酸: 丙酸 为 10:1、2:1、1:1、1:2、

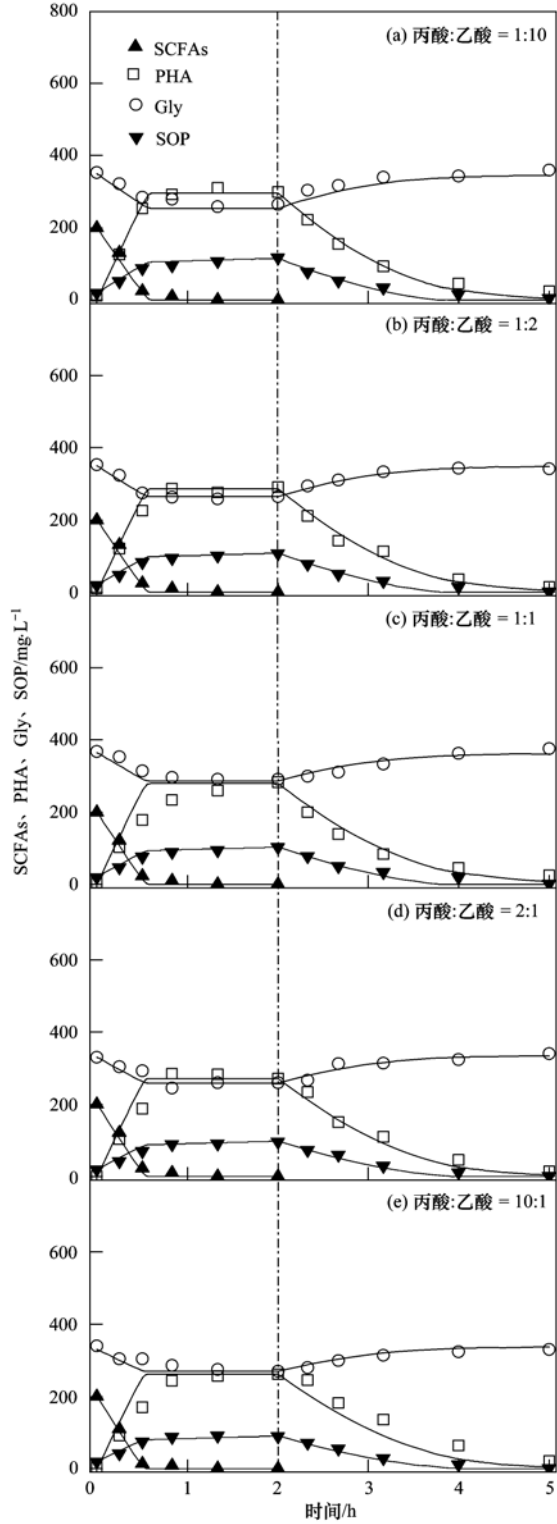
1:10)对微生物进行长期驯化. 每个 SBR 每个 SBR 反应器的有效容积 3.5 L, 每天运行 3 个周期, 每个周期 8 h, 其中包括厌氧 2 h, 好氧 3 h, 沉淀 1 h, 排水 5 min, 静置 115 min. 每个周期进水体积 2.75 L, 厌氧 pH 为 6.8, 进水时间 15 min. 反应器好氧阶段溶解氧为 6 mg·L⁻¹左右以保证溶解氧不是好氧阶段的限制因素, 污泥龄为 10 d 左右. 在试验测定周期, 采用手动瞬时进水, 以便获取精确的周期数据. 瞬时进水完毕后, 每个 SBR 中混合有机酸总浓度为

收稿日期: 2012-06-01; 修订日期: 2012-08-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(50408039); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2007AA06Z326); 中国石化基础科研项目(311047)

作者简介: 张超(1981~), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为废水生物处理与污泥资源化, E-mail: zhangchao_seu@163.com

200 mg·L⁻¹, PAO-SBR 磷浓度为 20 mg·L⁻¹, GAO-SBR 磷浓度为 1.3 mg·L⁻¹, 然后每隔一段时间取样, 测定系统中的 SCFAs、PHA、Gly、SOP 的变化情况(图 1、图 2 中的散点).



点代表测量值,线代表模拟值,下同
图 1 动力学模型模拟 PAO-SBR 物质转化规律
Fig. 1 Calibrated kinetic model describing the transformations in PAO-SBRs

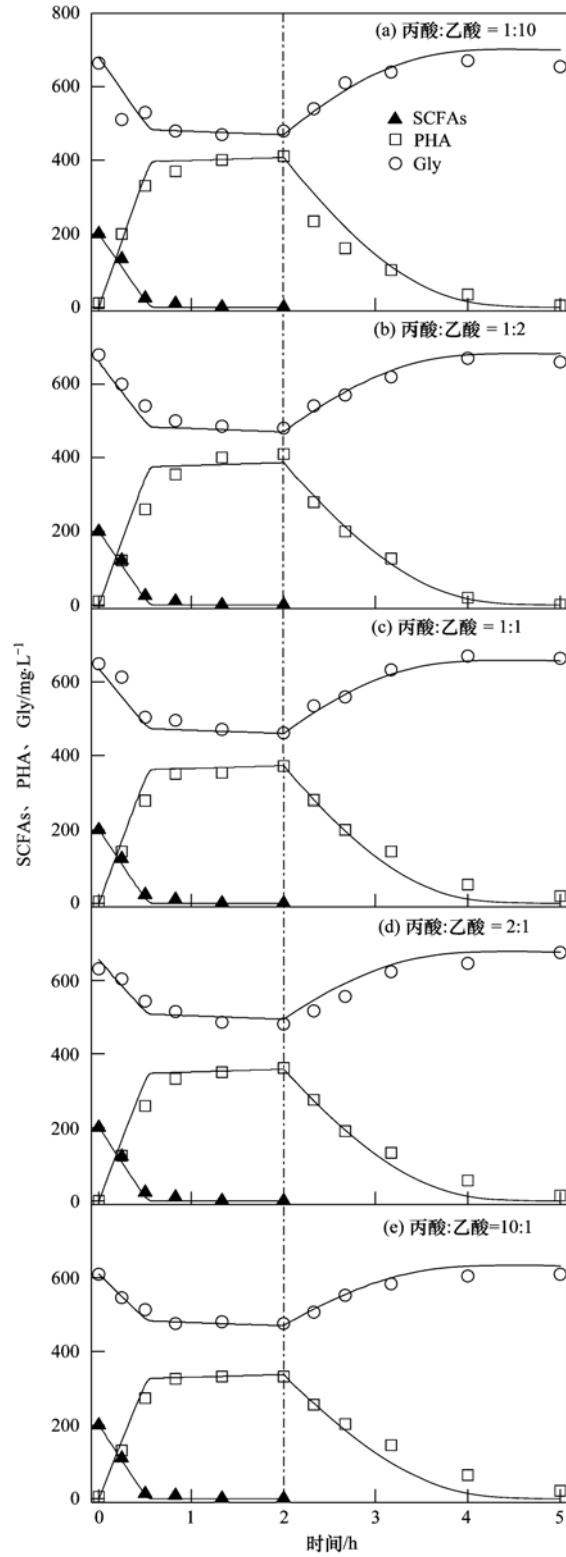


图 2 动力学模型模拟 GAO-SBR 物质转化规律
Fig. 2 Calibrated kinetic model describing the transformations in GAO-SBRs

2 模型参数的确定

2.1 计量学参数

聚羟基烷酸 (poly-β-hydroxyalkanoates, PHA)

包括聚羟基丁酸 (poly- β -hydroxybutyrate, PHB)、聚羟基戊酸 (poly- β -hydroxyvalerate, PHV)、聚羟基 2 甲基戊酸 (poly- β -hydroxy-2-methylvalerate, PH2MV), 为了简化方程, 本研究没有将这 3 种物质单独列出. 需要指出, 与以往的文献中 X_{PHA} 只包含 X_{PHB} 不同^[2~5], 虽然本研究以 X_{PHA} 代替了

X_{PHB} 、 X_{PHV} 和 X_{PH2MV} , 但是, 通过设置比例系数 x , 这里的 X_{PHA} 实质上为 X_{PHB} 、 X_{PHV} 和 X_{PH2MV} 三者之和, 其中 x 为丙酸占总酸的 mol 比例 (以 C 计)^[6].

式(1)为 PAO 代谢混合有机酸的厌氧计量学方程 (各系数单位为 mol, 以 C 或 P 计)^[6]:

$$\begin{aligned} & -\text{SCFAs} - \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{6}x\right)\text{Glycogen} - \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{9}x + \alpha_{\text{PAO}}\right)\text{HPO}_3(\text{Poly-P}) + \frac{2\left[\frac{2}{3}(1-x)\right]^2}{\left(\frac{2}{3} - \frac{4}{9}x\right)}\text{PHB} + \\ & \left(\frac{5}{9}x + \frac{5\left[\frac{2}{3}(1-x)\right]\left(\frac{2}{9}x\right)}{\left(\frac{2}{3} - \frac{4}{9}x\right)}\right)\text{PHV} + \frac{3\left(\frac{2}{9}x\right)^2}{\left(\frac{2}{3} - \frac{4}{9}x\right)}\text{PH2MV} + \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{9}x + \alpha_{\text{PAO}}\right)\text{H}_3\text{PO}_4 + \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{18}x\right)\text{CO}_2 = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, α_{PAO} 为 1 mol 有机酸 (以 C 计) 通过 PAO 细胞膜所需的能量, 当 pH 为中性时, $\alpha_{\text{PAO}} = 0.11$, 这样由式(1)可以计算出 PAO 动力学模型中^[6]的 $Y_{\text{SOP}}^{\text{SCFAs}}$ 、 $Y_{\text{PHA}}^{\text{SCFAs}}$ 和 $Y_{\text{GLY}}^{\text{SCFAs}}$ 分别为 (以 COD 计):

$$Y_{\text{SOP}}^{\text{SCFAs}} = \frac{31(3-x+9\alpha_{\text{PAO}})}{16(18+3x)}$$

$$Y_{\text{PHA}}^{\text{SCFAs}} = \frac{9}{6+x}$$

$$Y_{\text{GLY}}^{\text{SCFAs}} = \frac{3-x}{6+x}$$

当 $0 \leq x \leq 1$ 时, 上述参数可以简化为:

$$\begin{aligned} Y_{\text{SOP}}^{\text{SCFAs}} &= \frac{31(3-x+9\alpha_{\text{PAO}})}{16(18+3x)} \\ &\cong 0.42 - 0.15x (\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$Y_{\text{PHA}}^{\text{SCFAs}} = \frac{9}{6+x} \cong 1.50 - 0.21x (\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) \quad (3)$$

$$Y_{\text{GLY}}^{\text{SCFAs}} = \frac{3-x}{6+x} \cong 0.50 - 0.21x (\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) \quad (4)$$

同理, 可以根据 GAO 的厌氧计量学方程^[6]以及 PAO 和 GAO 的好氧代谢计量学方程^[7], 分别计算出 GAO 的厌氧的化学计量学常数以及 PAO 和 GAO 好氧计量学常数 (表 1 和表 2).

表 1 过程计量学系数矩阵的参数值

Table 1 Matrix of the stoichiometric coefficients for metabolic model

项目	参数	量比			质量比		
		乙酸	丙酸		乙酸	丙酸	混合酸
厌氧 PAO	$Y_{\text{SOP}}^{\text{SCFAs}}$	0.43	0.32	$n(\text{P})/n(\text{C})$	0.42	0.27	$0.42 - 0.15x$
	$Y_{\text{PHA}}^{\text{SCFAs}}$	1.33	1.22	$n(\text{C})/n(\text{C})$	1.50	1.29	$1.50 - 0.21x$
	$Y_{\text{GLY}}^{\text{SCFAs}}$	0.50	0.33	$n(\text{C})/n(\text{C})$	0.50	0.29	$0.50 - 0.21x$
厌氧 GAO	$Y_{\text{PHA}}^{\text{SCFAs}}$	1.75	1.50	$n(\text{C})/n(\text{C})$	2.00	1.57	$2.00 - 0.43x$
	$Y_{\text{GLY}}^{\text{SCFAs}}$	1.00	0.67	$n(\text{C})/n(\text{C})$	1.00	0.57	$1.00 - 0.43x$
好氧 PAO ^[8, 9]	$Y_{\text{sx}}^{\text{max}}$	0.74	0.80	$n(\text{C})/n(\text{C})$	0.74	0.73	$m(\text{COD})/m(\text{COD})$
	$Y_{\text{spp}}^{\text{max}}$	3.68	3.34	$n(\text{P})/n(\text{C})$	3.17	2.64	$m(\text{P})/m(\text{COD})$
	$Y_{\text{sgly}}^{\text{max}}$	0.90	1.06	$n(\text{C})/n(\text{C})$	0.80	0.86	$m(\text{COD})/m(\text{COD})$
	$i_{\text{PBM}}^{1)}$	0.015	0.015	$n(\text{P})/n(\text{C})$	0.013	0.013	$m(\text{P})/m(\text{COD})$
	$Y_{\text{PAO}} = Y_{\text{sx}}^{\text{max}}$				0.74	0.73	0.74
关系	$Y_{\text{PHA}} = 1/Y_{\text{sx}}^{\text{max}}$				0.32	0.38	$0.32 + 0.06x$
	$Y_{\text{GLY}} = Y_{\text{sgly}}^{\text{max}}$				0.80	0.86	$0.80 + 0.06x$
	$Y_{\text{sx}}^{\text{max}}(Y_{\text{GAO}})$	0.75	0.73	$n(\text{C})/n(\text{C})$	0.74	0.67	$0.74 - 0.07x$
好氧 GAO ^[10, 11]	$Y_{\text{sgly}}^{\text{max}}(Y_{\text{GLY}})$	0.95	1.04	$n(\text{C})/n(\text{C})$	0.83	0.85	$0.83 + 0.02x$

1) PAO 和 GAO 的结构式^[12]均可表示为 $\text{CH}_{2.09}\text{O}_{0.54}\text{N}_{0.20}\text{P}_{0.015}$

2.2 q_{GLY} 和 q_{PP} 的确定

在进行过程模拟之前, 大多数的动力学参数选择为系统的默认值; 但是部分动力学参数如 q_{SCFAs}

和 $m_{\text{GAO}}^{\text{Anaerobic}}$, 根据课题组之前的研究^[6]进行计算, 并与文献值进行了比较 (表 2 和表 3).

2.3 其它模型参数的确定

表 2 本研究与文献中的过程计量学和动力学系数比较(pH 7.0)

Table 2 Comparison of the stoichiometric and the kinetic parameters in this study and the literature

参数	物理意义	PAO					GAO				单位	
		[21,22]	[23]	[24]	[3]	[5]	本研究 ¹⁾	[24]	[3]	[5]		本研究 ¹⁾
计量学												
$Y_{PHA}^{SCFAs(2)}$	PHA 产率系数 (PHA/SCFAs)	—	1.49	1.33	1.30	1.43	1.50 ~ 1.29	1.33	2.17	1.91	2.00 ~ 1.57	$[m(COD)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
$Y_{GLY}^{SCFAs(2)}$	吸收 SCFAs 所消耗的糖原	—	0.49	0.33	0.30	0.43	0.50 ~ 0.29	0.33	1.17	0.91	1.00 ~ 0.67	$[m(COD)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
$Y_{SOP}^{SCFAs(2)}$	SOP 产率系数 (SOP/SCFAs)	—	0.60	0.53	0.53	0.57	0.42 ~ 0.27	—	—	—	—	$[m(P)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
$Y_{PAO,GAO}$	产率系数 (生物量/PHA)	0.63	0.63	0.58	0.63	0.63	0.74	0.58	0.63	0.63	—	$[m(COD)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
Y_{PHA}	贮存聚磷所需要的 PHA	0.20	0.20	0.32	0.20	0.20	0.32 ~ 0.38	—	—	—	0.74 ~ 0.67	$[m(COD)/m(P)]/g \cdot g^{-1}$
Y_{GLY}	糖原产率系数 (GLY/PHA)	—	—	1.00	1.00	1.00	0.80 ~ 0.86	1.00	1.00	1.00	0.83 ~ 0.85	$[m(COD)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
i_{PBM}	微生物中的磷含量	0.02	—	—	—	0.02	0.013	0.02	—	—	0.013	$[m(P)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
动力学												
$q_{SCFA}^{3)}$	SCFAs 吸收速率常数	0.19 ~ 0.21				0.19 ~ 0.21		0.205		0.205		$[m(COD)/m(COD)] \cdot t / g \cdot (g \cdot d)^{-1}$
$q_{GLY}^{4)}$	GLY 的水解速率常数	—	3	3.8	2.7	2.25	2.32 ~ 1.69	1.2	2.7	3	4.32 ~ 2.88	$[m(COD)/m(COD)] \cdot t / g \cdot (g \cdot d)^{-1}$
$q_{PP}^{4)}$	PP 的水解速率常数	1.5	1.5	2.8	2	1.5	1.52 ~ 1.09	—	—	—	—	$[m(P)/m(COD)] \cdot t / g \cdot (g \cdot d)^{-1}$
$m_{PAO,GAO}^{Anaerobic}$	PAO,GAO 厌氧维持系数	—	—	—	—	—	0.07	—	—	—	0.11	d ⁻¹
$\mu_{PAO,GAO}$	最大生长速率	1	1	0.84	1	0.7	0.8	0.8	1	0.7	0.6	d ⁻¹
$b_{PAO,GAO}$	$X_{PAO,GAO}$ 的溶菌速率常数	0.2	0.15	0.08	0.2	0.15	0.1	0.08	0.1	0.15	0.1	d ⁻¹
b_{PP}	X_{PP} 的分解速率常数	0.2	0.07	0.08	0.2	0.07	0.1	—	—	—	—	d ⁻¹
b_{GLY}	X_{GLY} 的分解速率常数	0.2	0.2	0.08	0.2	0.2	0.1	0.08	0.1	0.2	0.1	d ⁻¹
b_{PHA}	X_{PHA} 的分解速率常数	0.2	0.2	0.08	0.2	0.2	0.1	0.08	0.1	0.2	0.1	d ⁻¹
K_{SCFAs}	S_{SCFAs} 的饱和系数	4	4	3.63	4	4	3.6	3.63	4	4	3.6	$[m(P)/V]/g \cdot m^{-3}$
K_{GLY}	X_{GLY} 的饱和系数	—	0.01	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001	0.01	0.001	$[m(COD)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
K_{O_2}	O ₂ 的饱和常数	0.2	—	0.2	—	—	0.2	0.2	—	—	0.2	$[m(O_2)/V]/g \cdot m^{-3}$
K_{PP}	X_{PP} 的饱和系数	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.001	—	—	—	—	$[m(P)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
K_{PS}	PP 贮存的磷的饱和系数	0.2	0.2	0.2	0.5	0.1	0.5	—	—	—	—	$[m(P)/V]/g \cdot m^{-3}$
K_P	生长过程磷的饱和系数	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	$[m(P)/V]/g \cdot m^{-3}$
f_{PP}^{Max}	X_{PP}/X_{PAO} 的最大比率	0.34	0.34	0.28	0.34	0.4	0.35	—	—	—	—	$[m(P)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
f_{GLY}^{Max}	X_{GLY}/X_{PAO} 或 X_{GLY}/X_{GAO} 的最大比率	—	0.4	0.25	0.15	0.2	0.2	0.4	0.3	0.425	0.425	$[m(COD)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
K_{IPP}	X_{PP} 贮存的抑制系数	0.02	0.02	0.001	0.02	0.001	0.001	—	—	—	—	$[m(P)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
K_{IG}	X_{GLY} 贮存的抑制系数	0.02	—	0.015	0.02	0.02	0.02	0.015	0.02	0.02	0.02	$[m(COD)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
K_{PHA-PP}	用于 X_{PP} 贮存的 PHA 饱和系数	0.01	0.02	0.07	0.05	0.05	0.04	—	—	—	—	$[m(COD)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
K_{PHA}	用于生长的 PHA 饱和系数	—	0.02	0.03	0.05	0.025	0.015	0.03	0.01	0.02	0.01	$[m(COD)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
$K_{PHA-GLY}$	用于 X_{GLY} 贮存的 PHA 饱和系数	0.01	0.02	0.12	0.01	0.05	0.1	0.008	0.01	0.01	0.1	$[m(COD)/m(COD)]/g \cdot g^{-1}$
$K_{pH}^{5)}$	H ⁺ 浓度的饱和常数	2.28×10^{-6}				2.28×10^{-6}		—	—	—	—	$[n(H^+)/V]/mol \cdot m^{-3}$
$K_{I,pH}^{5)}$	H ⁺ 浓度的抑制常数	6.94×10^{-4}				6.94×10^{-4}		—	—	—	—	$[n(H^+)/V]/mol \cdot m^{-3}$

1) 本栏的计量学参数与 SCFAs 酸的类型及比例有关^[6]; 2) 原文献中没有直接列出,但是根据参数的物理意义可以计算出计量学系数,参数转换关系如下: $Y_{PHA}^{SCFAs}=1/Y_{SA}$, $Y_{GLY}^{SCFAs}=(1-Y_{SA})/Y_{SA}$, $Y_{SOP}^{SCFAs}=Y_{SOP}/Y_{SA}$; 3) 见文献[10,12,14,16,25]; 4) 见表 3; 5) 见文献[26,27]

表 3 动力学参数 q_{GLY} 、 q_{PP} 的选择¹⁾

Table 3 Determination of q_{GLY} and q_{PP}

项目	乙酸			丙酸		
	文献	q_{GLY}	q_{PP}	文献	q_{GLY}	q_{PP}
PAO	Smolders 等 ^[13]	0.062 7	0.040 1	Oehmen 等 ^[14]	0.015 4	0.022
	Pijuan 等 ^[15] 的试验数据	0.027	—	Pijuan 等 ^[15] 的试验数据	0.021	—
	Pijuan 等 ^[15] 的模型数据	0.17	0.208	Pijuan 等 ^[15] 的模型数据	0.15	0.208
	Oehmen 等 ^[16]	0.026 4	—	Oehmen 等 ^[16]	0.020 9	—
	Lu 等 ^[17]	0.053 5	0.037 6	Lu 等 ^[17]	0.038 3	0.028 7
	Filipe 等 ^[18]	0.04	0.1	Oehmen 等 ^[9]	0.026 3	0.022 9
	本研究	0.0964	0.063 3	本研究	0.070 4	0.045 3
GAO	Filipe 等 ^[19]	0.191 5	—	—	—	—
	Zeng 等 ^[11]	0.068	—	Zeng 等 ^[11]	0.041 1	—
	Oehmen 等 ^[16,20]	0.081 4	—	Oehmen 等 ^[16,20]	0.040 2	—
	本研究	0.18	—	本研究	0.12	—

1) 部分文献没有直接给出具体的试验数据,该表是根据文献中数据计算而得; $q_{GLY}:[m(COD)/m(COD)] \cdot t / g \cdot (g \cdot h)^{-1}$; $q_{PP}:[m(COD)/m(COD)] \cdot t / g \cdot (g \cdot h)^{-1}$

其它模型参数的选择见表 3, 这些参数主要选自活性污泥 ASM2 模型中的推荐值^[21, 22]. 除少数几个参数之外, 模型中所使用的大多数计量学和动力学数据都与文献中数据保持一致. 少数参数与 ASM2 模型不一致的主要原因是: ①本研究的碳源中包含一部分丙酸, 而使用 ASM2 模型的文献中基本是以乙酸作为唯一碳源; ②在厌氧阶段, 文献以 PHA 的合成作为厌氧动力学的基准方程, 而本研究以 SCFAs 的代谢作为厌氧动力学的基准方程; ③表 2 中一般采用 $\mu_{\text{PAO}} = \mu_{\text{GAO}}$, 而本研究中 $\mu_{\text{PAO}} > \mu_{\text{GAO}}$, 这是因为, 根据文献报道, 每吸收 1 mol (以 C 计) 乙酸或丙酸, 将在好氧条件下合成 0.32 ~ 0.37 mol PAO 或 GAO (以 C 计), 换言之, 代谢相同量的有机酸时, 生成的微生物的量也相同^[10]. 如果本研究也采用 $\mu_{\text{PAO}} = \mu_{\text{GAO}}$, 则合成的 GAO 约为 PAO 的 1.33 倍, 与文献不符, 因此, 本研究中 $\mu_{\text{PAO}} = 1.33 \mu_{\text{GAO}}$.

3 数据模拟与验证

将表 1~3 中的计量学和动力学数据代入到动力学矩阵及过程速率中, 采用 Matlab 软件进行积分, 即可绘出混合酸条件下 PAO 和 GAO 的厌氧-好氧过程中物质变化曲线 (图 1、图 2). 由图 1、图 2 可见, 模拟曲线和试验数据比较相符, 这说明使用以 SCFAs 作为基准物质的 PAO (和 GAO) 厌氧和好氧动力学模型、并赋予相应的计量学和动力学参数可以很好地模拟有机酸、糖原、PHA 和 SOP 的变化规律.

4 结论

(1) 采用 10 个 SBR 反应器, 分别测定了 PAO 和 GAO 在厌氧和好氧条件下 SCFAs、PHA、Gly、SOP 的变化情况.

(2) 确定了 PAO 和 GAO 动力学模型中的计量学参数和动力学参数的取值范围, 特别是几个关键参数如 $Y_{\text{SOP}}^{\text{SCFAs}}$ 、 $Y_{\text{PHA}}^{\text{SCFAs}}$ 、 $Y_{\text{GLY}}^{\text{SCFAs}}$ 、 q_{GLY} 和 q_{PP} 的选取和计算过程, 在不同进水碳源组成条件下, 部分参数值的选取会有所变化.

(3) Matlab 的积分结果表明, 基于 SCFAs 代谢建立的动力学模型能够较好地模拟 PAO 和 GAO 的代谢过程, 因此, 该模型可以用来预测不同碳源条件下 PAO 和 GAO 的竞争规律.

参考文献:

[1] 张超, 陈银广. 乙酸/丙酸作为 EBPR 碳源的动力学模型研

究(I)——模型的建立[J]. 环境科学, 2013, **34**(3): 993-997.

- [2] Tan Y H, Wang Z X, Marshall K C. Modeling pH effects on microbial growth: A statistical thermodynamic approach [J]. Biotechnology and Bioengineering, 1998, **59**(6): 724-731.
- [3] Yagci N, Insel G, Artan N, *et al.* Modelling and calibration of phosphate and glycogen accumulating organism competition for acetate uptake in a sequencing batch reactor[J]. Water Science and Technology, 2004, **50**(6): 241-250.
- [4] Henze M, Gujer W, Mino T, *et al.* Activated sludge model No. 2, IAWQ Scientific and technical report[R]. London: IAWQ, 1995.
- [5] Whang L M, Filipe C D M, Park J K. Model-based evaluation of competition between polyphosphate-and glycogen-accumulating organisms[J]. Water Research, 2007, **41**(6): 1312-1324.
- [6] Zhang C, Chen Y G, Randall A A, *et al.* Anaerobic metabolic models for phosphorus-and glycogen-accumulating organisms with mixed acetic and propionic acids as carbon sources[J]. Water Research, 2008, **42**(14): 3745-3756.
- [7] 张超. 混合短链脂肪酸作为增强生物除磷碳源的计量学和动力学研究[D]. 上海: 同济大学, 2009.
- [8] Smolders G J F, Van der Meij J, Van Loosdrecht M C M, *et al.* Stoichiometric model of the aerobic metabolism of the biological phosphorus removal process [J]. Biotechnology and Bioengineering, 1994, **44**(7): 837-848.
- [9] Oehmen A, Zeng R J, Keller J, *et al.* Modeling the aerobic metabolism of polyphosphate-accumulating organisms enriched with propionate as a carbon source[J]. Water Environmental Research, 2007, **79**(13): 2477-2486.
- [10] Oehmen A, Zeng R J, Saunders A M, *et al.* Anaerobic and aerobic metabolism of glycogen-accumulating organisms selected with propionate as the sole carbon source[J]. Microbiology, 2006, **152**(9): 2767-2778.
- [11] Zeng R J, van Loosdrecht M C M, Yuan Z G, *et al.* Metabolic model for glycogen-accumulating organisms in anaerobic/aerobic activated sludge systems[J]. Biotechnology and Bioengineering, 2003, **81**(1): 92-105.
- [12] Filipe C D M, Daigger G T, Grady C P L Jr. Stoichiometry and kinetics of acetate uptake under anaerobic conditions by an enriched culture of phosphorus-accumulating organisms at different pHs[J]. Biotechnology and Bioengineering, 2001, **76**(1): 32-43.
- [13] Smolders G J F, Van der Meij J, Van Loosdrecht M C M, *et al.* A structured metabolic model for anaerobic and aerobic stoichiometry and kinetics of the biological phosphorus removal process[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1995, **47**(3): 277-287.
- [14] Oehmen A, Zeng R J, Yuan Z G, *et al.* Anaerobic metabolism of propionate by polyphosphate-accumulating organisms in enhanced biological phosphorus removal systems [J]. Biotechnology and Bioengineering, 2005, **91**(1): 43-53.
- [15] Pijuan M, Saunders A M, Guisasola A, *et al.* Enhanced

- biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor using propionate as the sole carbon source [J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2004, **85**(1): 56-67.
- [16] Oehmen A, Yuan Z G, Blackall L L, *et al.* Comparison of acetate and propionate uptake by polyphosphate accumulating organisms and glycogen accumulating organisms [J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2005, **91**(2): 162-168.
- [17] Lu H B, Oehmen A, Virdis B, *et al.* Obtaining highly enriched cultures of *Candidatus Accumulibacter phosphatus* through alternating carbon sources[J]. *Water Research*, 2006, **40**(20): 3838-3848.
- [18] Filipe C D M, Daigger G T, Grady C P L. pH as a key factor in the competition between glycogen-accumulating organisms and phosphorus-accumulating organisms [J]. *Water Environment Research*, 2001, **73**(2): 223-232.
- [19] Filipe C D M, Daigger G T, Grady C P L. A metabolic model for acetate uptake under anaerobic conditions by glycogen accumulating organisms: stoichiometry, kinetics, and the effect of pH[J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2001, **76**(1): 17-31.
- [20] Oehmen A, Lemos P C, Carvalho G, *et al.* Advances in enhanced biological phosphorus removal: From micro to macro scale [J]. *Water Research*, 2007, **41**(11): 2271-2300.
- [21] Henze M, Gujer W, Mino T, *et al.* Activated sludge model No 2D, ASM2D [J]. *Water Science and Technology*, 1999, **39**(1): 165-182.
- [22] 张亚雷, 李咏梅. 活性污泥数学模型[M]. 上海: 同济大学出版社, 2002.
- [23] Schuler A J. Diversity matters: Dynamic simulation of distributed bacterial states in suspended growth biological wastewater treatment systems[J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2005, **91**(1): 62-74.
- [24] Manga J, Ferrer J, Garcia-Usach F, *et al.* A modification to the activated sludge model No. 2 based on the competition between phosphorus-accumulating organisms and glycogen-accumulating organisms[J]. *Water Science and Technology*, 2001, **43**(11): 161-171.
- [25] Lopez-Vazquez C M, Oehmen A, Hooijmans C M, *et al.* Modeling the PAO-GAO competition: Effects of carbon source, pH and temperature[J]. *Water Research*, 2009, **43**(2): 450-469.
- [26] Serralta J, Ferrer J, Borrás L, *et al.* An extension of ASM2d including pH calculation[J]. *Water Research*, 2004, **38**(19): 4029-4038.
- [27] Serralta J, Ferrer J, Borrás L, *et al.* Effect of pH on the biological phosphorus uptake [J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2006, **95**(5): 875-882.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} over Eastern China from MODIS Aerosol Optical Depth Using the Back Propagation Neural Network	GUO Jian-ping, WU Ye-rong, ZHANG Xiao-ye, <i>et al.</i> (817)
Comparison of Atmospheric Particulate Matter and Aerosol Optical Depth in Beijing City	LIN Hai-feng, XIN Jin-yuan, ZHANG Wen-yu, <i>et al.</i> (826)
Impacts of Meteorological Factors on Atmospheric Methane Mole Fractions in the Background Area of Yangtze River Delta	PU Jing-jiao, XU Hong-hui, GU Jun-qiang, <i>et al.</i> (835)
Dispersion and Analysis of Odor Pollution in Landfill Area Under the Enclosed Operation Condition	LU Peng, WU Shi-xing, DAI Zhi-feng, <i>et al.</i> (842)
Distribution Characteristics and Sea-Air Fluxes of Volatile Halocarbons in the East China Sea in Winter	HE Zhen, LU Xiao-lan, YANG Gui-peng (849)
Intra- and Inter-annual Variabilities of Particulate Organic Matter in the Mirs Bay from 2000 to 2010	LI Xu-lu, ZHOU Yi-pin, XIA Hua-yong (857)
Phytoplankton Assemblages and Their Relation to Environmental Factors by Multivariate Statistic Analysis in Bohai Bay	ZHOU Ran, PENG Shi-tao, QIN Xue-bo, <i>et al.</i> (864)
Characteristics and Evolution of Hydrochemical Compositions of Freshwater Lake in Tibetan Plateau	WANG Peng, SHANG Ying-nan, SHEN Li-cheng, <i>et al.</i> (874)
Estimation of Nonpoint Source Pollutant Loads and Optimization of the Best Management Practices (BMPs) in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, LIU Pin (882)
An Object-Oriented Intelligent Engineering Design Approach for Lake Pollution Control	ZOU Rui, ZHOU Jing, LIU Yong, <i>et al.</i> (892)
Contribution of Plant Litters to Sediments Organic Matter in Jiulong River Estuary Wetland	LUO Zhuan-xi, QIU Zhao-zheng, WANG Zhen-hong, <i>et al.</i> (900)
Application of Tiered Approach to Assess the Impact of Backfilling Remediated Soil on Groundwater	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (907)
Removal of Nitrate from Groundwater Using Permeable Reactive Barrier	LI Xiu-li, YANG Jun-jun, LU Xiao-xia, <i>et al.</i> (914)
Research on Pollution Load of Sediments in Storm Sewer in Beijing District	LI Hai-yan, XU Bo-ping, XU Shang-ling, <i>et al.</i> (919)
Occurrence and Risk Assessment of Five Selected PPCPs in Municipal Wastewater Treatment Plant and the Receiving Water	WEN Zhi-hao, DUAN Yan-ping, MENG Xiang-zhou, <i>et al.</i> (927)
Microbial Risk Assessment of Urban Water Bodies for Aesthetical and Recreational Uses	SUN Fu, SHA Jing, ZHANG Yi-fan, <i>et al.</i> (933)
Study on Removal of Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate by Using of Small-Scale Biological Aerated Filter	LI Wei, ZHAO Jing, YU Jian, <i>et al.</i> (943)
Mechanism of Membrane Fouling and Filtration Characteristics in a Membrane Bioreactor for Industrial Wastewater Treatment	FAN Ju-hong, YU Su-lin, ZHANG Pei-shuai, <i>et al.</i> (950)
Enhanced Electro-Chemical Oxidation of Acid Red 3R Solution with Phosphotungstic Acid Supported on γ -Al ₂ O ₃	YUE Lin, WANG Kai-hong, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (955)
Degradation Kinetics of Activated Carbon Catalyzed Persulfate Oxidation Orange G	YANG Mei-mei, ZHOU Shao-qi, LIU Dan, <i>et al.</i> (962)
Study on the Start-up of the Anaerobic Baffled Reactor for Treating Alkali-dewighting and Dyeing-printing Wastewater	YANG Bo, ZHONG Qi-jun, LI Fang, <i>et al.</i> (968)
Study on the Pollutants Removal Performance Along the Advanced Treatment in Tannery Wastewater by O ₃ -BAF	YU Bin, LIU Rui, CHENG Jia-di, <i>et al.</i> (974)
Effect of Pilot UASB-SFSBR-MAP Process for the Large Scale Swine Wastewater Treatment	WANG Liang, CHEN Chong-jun, CHEN Ying-xu, <i>et al.</i> (979)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Municipal Wastewater and Studies on Its Characteristics Under the Continuous Flow	NIU Shu, DUAN Bai-chuan, ZHANG Zuo-li, <i>et al.</i> (986)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (I) : Model Constitution	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (993)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (II) : Process Simulation	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (998)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (III) : Model Application	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (1004)
Comparative Study on Water-air CO ₂ , CH ₄ Flux in Two Tributaries in the Three Gorges Reservoir, China	LI Zhe, BAI Lei, GUO Jin-song, <i>et al.</i> (1008)
Factors Influencing the Spatial Variability in Soil Respiration Under Different Land Use Regimes	CHEN Shu-tao, LIU Qiao-hui, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1017)
Differences in Soil Respiration Between Cropland and Grassland Ecosystems and Factors Influencing Soil Respiration on the Loess Plateau	ZHOU Xiao-gang, ZHANG Yan-jun, NAN Ya-fang, <i>et al.</i> (1026)
Application and Benefit Evaluation of Tiered Health Risk Assessment Approach on Site Contaminated by Benzene	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, LIANG Jin, <i>et al.</i> (1034)
History of Heavy Metal Pollution from Tidal Flat in Haizhou Bay	ZHANG Rui, ZHANG Fan, LIU Fu-cheng, <i>et al.</i> (1044)
Accumulation, Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Surface Sediment of Caohai Plateau Wetland, Guizhou Province	ZHANG Qing-hai, LIN Chang-hu, TAN Hong, <i>et al.</i> (1055)
Assessment and Correlation Analysis of Heavy Metals Pollution in Soil of Dajinshan Island	CHENG Fang, CHENG Jin-ping, SANG Heng-chun, <i>et al.</i> (1062)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Stream Sediments from a Typical Nonferrous Metals Mining City	LI Ru-zhong, JIANG Yan-min, PAN Cheng-rong, <i>et al.</i> (1067)
Contamination and Health Risk for Heavy Metals via Consumption of Vegetables Grown in Fragmentary Vegetable Plots from a Typical Nonferrous Metals Mine City	LI Ru-zhong, PAN Cheng-rong, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1076)
Correlativity Study of the Distribution of Soil Magnetic Susceptibility and the Heavy Metal Contents in Xi'an City	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei, YANG Guang (1086)
Distribution Characteristics and Environmental Significance of Heavy Metals in Soil Particle Size Fractions from Tropical Forests in China	GONG Cang, XU Dian-dou, CHENG Hang-xin, <i>et al.</i> (1094)
Study on Phosphorus Adsorption Characteristic of Sediments in an Ecological Ditch	ZHANG Shu-nan, JIA Zhao-yue, XIAO Run-lin, <i>et al.</i> (1101)
Fractions and Adsorption Characteristics of Phosphorus on Sediments and Soils in Water Level Fluctuating Zone of the Pengxi River, a Tributary of the Three Gorges Reservoir	SUN Wen-bin, DU Bin, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i> (1107)
Sorption Behavior of Triton X-100 on Loess and Affecting Factors	ZHONG Jin-kui, ZHAO Bao-wei, ZHU Kun, <i>et al.</i> (1114)
Residual Levels in Air, Soil and Soil-Air Exchange of Organochlorine Pesticides in Hami Region of Xinjiang and Its Potential Ecological Risk	MA Zi-long, MAO Xiao-xuan, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (1120)
Levels and Sources of Decabromodiphenyl Ether and Dechlorane Plus in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China	HE Chang, JIN Jun, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> (1129)
Vertical Distribution of PBDEs and DL-PCBs in Sediments of Taihu Lake	MA Zhao-hui, JIN Jun, QI Xue-kui, <i>et al.</i> (1136)
Characteristics of Organic Pollutants in the Sediments from a Typical Electronics Industrial Zone	LIU Jin, DENG Dai-yong, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (1142)
Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Exhaust Particles from a Diesel Car	TAN Pi-qiang, ZHOU Zhou, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (1150)
Characterization of PAHs in Fly Ashes from Coke Production	MU Ling, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (1156)
Comparison of PAHs Distribution in Stabilized Sludge by Sludge Drying Bed and Reed Bed	CUI Yu-bo, SUN Hong-jie, RAN Chun-qiu, <i>et al.</i> (1161)
Effects of Adsorbents on Partitioning and Fixation of Heavy Metals in the Incineration Process of Sewage Sludge	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu, CHEN Tao (1166)
Environmental Toxicity of Waste Foundry Sand	ZHANG Hai-feng, WANG Yu-jue, WANG Jin-lin, <i>et al.</i> (1174)
Construction and Properties of a Microbial Whole-cell Sensor CB10 for the Bioavailability Detection of Cr ⁶⁺	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xu-liang, <i>et al.</i> (1181)
Structure and Dynamics of Microbial Community in the Denitrifying Sulfide Removal Process	YU Hao, WANG Ai-jie, CHEN Chuan (1190)
Effects of Physico-chemical Parameters on the Abundance of the Denitrification-associated Genes <i>nirK</i> , <i>nirS</i> and <i>nosZ</i> During Agricultural Waste Composting	HU Chun-xiao, CHEN Yao-ning, ZHANG Jia-chao, <i>et al.</i> (1196)
Impact of PAHs on the Expression of PRDX in Earthworm (<i>Eisenia fetida</i>)	LIN Kang-li, ZHENG Sen-lin, SONG Yu-fang, <i>et al.</i> (1204)
Preparation of OMC-Au/L-Lysine/Au Modified Glassy Carbon Electrode and the Study on Its Detection Response to Hydroquinone and Catechol	ZHOU Yao-yu, TANG Lin, LI Zhen, <i>et al.</i> (1211)
Risk Communication in Construction of New Nuclear Power Plant	HE Gui-zhen, LÜ Yong-long (1218)

《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)

2013年3月15日 34卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 3 Mar. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人