

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第10期

Vol.36 No.10

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于细颗粒物来源追踪技术的2013年12月上海市严重污染过程中PM _{2.5} 的源贡献分析·····	李莉, 安静宇, 严茹莎 (3543)
华北地区乡村站点(曲周)夏季PM _{2.5} 中二次无机组分的生成机制与来源解析·····	陈仕意, 曾立民, 董华斌, 朱彤 (3554)
成都市大气PM _{2.5} 中有机磷阻燃剂的污染水平及来源·····	印红玲, 李世平, 叶芝祥, 杨迎春, 梁金凤, 游俊杰 (3566)
不同生物质燃烧排放多环芳烃及糖醇类化合物的模拟研究·····	黄帅, 黄欣怡, 吴水平, 胡清华, 陈晓秋 (3573)
北京地区大气消光特征及参数化研究·····	陈一娜, 赵普生, 何迪, 董璠, 赵秀娟, 张小玲 (3582)
光助芬顿反应催化降解气体中甲苯·····	郑思灿, 陈天虎, 刘海波, 邹雪华, 朱承驻, 陈冬 (3590)
遗体火化二噁英类排放水平及影响因素·····	尹文华, 于晓巍, 韩静磊, 冯桂贤, 付建平, 杨艳艳, 鞠勇明, 张素坤 (3596)
我国餐厨废物生化处理设施恶臭排放特征分析·····	张妍, 王元刚, 卢志强, 韩萌, 商彬彬, 曹阳, 张君 (3603)
太湖湖表反照率时空特征及影响因子·····	曹畅, 李旭辉, 张弥, 刘寿东, 肖薇, 肖启涛, 徐家平 (3611)
基于GOCI影像的太湖水体漫衰减系数遥感反演·····	王珊珊, 李云梅, 王桥, 吕恒 (3620)
河口盐度梯度下短叶茳苳沼泽湿地土壤间隙水溶解性甲烷时空特征·····	杨平, 张子川, 杜威宁, 黄佳芳, 全川 (3633)
石家庄市土壤水分运移的稳定同位素特征分析·····	陈同同, 陈辉, 韩璐, 邢星, 付阳阳 (3641)
长寿湖水库垂直剖面不同形态汞的季节变化特征及其影响因素·····	白薇扬, 张成, 唐振亚, 赵铮, 王定勇 (3649)
三峡库区消落带4种典型植物根际土壤养分与氮素赋存形态·····	王晓峰, 袁兴中, 刘红, 张磊, 尉建军, 岳俊生 (3662)
湖泊水-沉积物界面DIC和DOC交换通量及耦合关系·····	王伟颖, 吕昌伟, 何江, 左乐, 颜道浩 (3674)
水体扰动条件下物质在沉积介质中的迁移·····	李邵龙, 陈道毅 (3683)
城市道路径流的排污特征·····	武俊良, 任玉芬, 王雪梅, 王效科, 陈利顶, 刘刚才 (3691)
杭州市余杭区典型农村暴雨径流污染特征·····	段圣辉, 赵钰, 单保庆, 唐文忠, 张文强, 张淑珍, 郎超 (3697)
海水淡化超滤-反渗透工艺沿程溴代消毒副产物变化规律·····	杨哲, 孙迎雪, 石娜, 胡洪管 (3706)
天然有机物和电解质对水中C ₆₀ 凝聚行为的影响·····	方华, 荆洁, 于江华, 王钰葶 (3715)
铅改性高岭土原位改良技术控制重污染河道底泥磷释放效果·····	王虹, 林建伟, 詹艳慧, 章喆, 王笛入 (3720)
污水管网中无机氮类营养盐变迁规律·····	金鹏康, 焦丁, 任武昂 (3730)
微好氧水解酸化在石化废水预处理中的应用研究·····	朱晨, 吴昌永, 周岳溪, 伏小勇, 陈学民, 邱延波, 吴晓峰 (3738)
倒置A ² /O-MBR组合工艺处理生活污水效能及膜污染特性·····	王旭东, 马亚斌, 王磊, 杨怡婷, 黄丹曦, 夏四清 (3743)
高氨氮对具有回流的PN-ANAMMOX串联工艺的脱氮影响·····	李祥, 崔剑虹, 袁砚, 黄勇, 袁怡, 刘忻 (3749)
苯甲酸盐厌氧驯化体系中三氯乙烯的还原脱氯特性·····	李姜维, 杨晓永, 胡安谊, 于昌平 (3756)
驯化污泥厌氧还原脱氯促进2,4,6-三氯酚矿化及胞外呼吸脱氯途径·····	宋佳秀, 李玲, 盛凡凡, 郭翠香, 张永明, 李祖元, 王天丽 (3764)
苯酚对厌氧氨氧化污泥脱氮效能长短期影响·····	杨朋兵, 李祥, 黄勇, 朱亮, 崔剑虹, 徐彬彬 (3771)
连续流好氧颗粒污泥系统处理低COD/N实际生活污水的工艺优化·····	鲁磊, 信欣, 鲁航, 朱辽东, 谢思建, 武勇 (3778)
FNA对好氧吸磷的长期抑制及污泥吸磷方式转化·····	马娟, 李璐, 俞小军, 孙雷军, 孙洪伟, 陈永志 (3786)
污水处理厂不同工艺的污泥脱水效能分析及其影响因素研究·····	刘吉宝, 李亚明, 吕鑑, 魏源送, 杨敏, 郁达伟 (3794)
残留过氧化氢对微波-过氧化氢-碱预处理后污泥水解酸化的影响·····	贾瑞来, 刘吉宝, 魏源送, 才兴 (3801)
大围山典型森林土壤有机氮垂直分布特征·····	丁咸庆, 马慧静, 朱晓龙, 陈珊, 侯红波, 彭佩钦 (3809)
缙云山不同土地利用方式对土壤活性有机碳、氮组分的影响·····	祁心, 江长胜, 郝庆菊, 李鉴霖 (3816)
三峡库区典型退耕还林模式土壤养分流失控制·····	吴东, 黄志霖, 肖文发, 曾立雄 (3825)
坡位与土层对喀斯特原生林土壤微生物生物量与丰度的影响·····	冯书珍, 苏以荣, 张伟, 陈香碧, 何寻阳 (3832)
不同种植方式对亚热带红壤微生物多样性的影响·····	沈冰洁, 祝贞科, 袁红朝, 葛体达, 王久荣, 陈明利, 吴晓英, 吴金水 (3839)
有色冶金区土壤-玉米系统汞累积及健康风险·····	纪小凤, 郑娜, 王洋, 刘强, 张静静 (3845)
改良剂对4种木本植物的铅锌耐性、亚细胞分布和化学形态的影响·····	陈永华, 张富运, 吴晓英, 梁希, 袁斯文 (3852)
菹草乙酸酯组分抑菌活性物质的分离纯化和鉴定·····	孙颖颖, 苏振霞, 浦寅芳, 肖辉, 王长海 (3860)
血吸虫病疫区水生生物体内氯苯化合物的污染特征与潜在风险·····	李昆, 赵高峰, 周怀东, 赵健, 张盼伟, 刘巧娜, 王兴勋, 刘晓茹 (3866)
生物传感细胞ADP1_pWHLux在水环境急性毒性检测中的应用·····	唐慧, 宋一之, 姜博, 陈光玉, 贾建丽, 张旭, 李广贺 (3872)
虹鳟鱼鳃及肝脏多种CYP1基因表达模式作为生物标志物监测海河水污染状况·····	高锴, 闫佩, 檀翠玲, 罗彦鹤, 孙静, Maria E. Jönsson, Ingvar Brandt, 唐运平 (3878)
纳米氧化锌对斑马鱼肝脏的毒性效应·····	刘林, 赵群芬, 金凯星, 朱帅旗, 王小飞, 吕佳昀 (3884)
黄连根茎浸提物对隆线蚤的急性毒性作用·····	陈亚楠, 袁玲 (3892)
发酵稻壳对亚铁离子和硫离子的吸附-解吸附特性·····	谢晓梅, 廖敏, 华嘉媛, 陈娜, 张楠, 徐培智, 解开治, 徐昌旭, 刘光荣 (3896)
搅拌棒吸附萃取-气相色谱-质谱联用测定海水中邻苯二甲酸酯·····	高晨晨, 李锋民, 卢伦, 孙玥 (3906)
COD组分分析的实验条件及结果可靠性分析·····	李志华, 张银, 韩杏, 余科, 李汝佳 (3913)
养猪废水和污泥中11种兽用抗生素的同时分析技术及其在生物降解过程的应用·····	丁佳丽, 刘锐, 郑炜, 余卫娟, 叶朝霞, 陈吕军, 张永明 (3918)
土壤微生物产电技术及其潜在应用研究进展·····	邓欢, 薛洪婧, 姜允斌, 钟文辉 (3926)
《环境科学》征订启事 (3553)	
《环境科学》征稿简则 (3589)	
信息 (3705, 3755, 3763, 3800)	

COD 组分分析的实验条件及结果可靠性分析

李志华, 张银, 韩杏, 余科, 李汝佳

(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: 本研究尝试用 $SF(OUR_{\max}/OUR_{\text{en}})$ 代替 $S(0)/X(0)$ 来作为呼吸法确定 COD 组分最优实验条件的参数, 从而简化测量过程且可实现自动化操作。另外由生长消耗 COD 与生物量的比值来判断测量结果的可靠性。结果表明, 获得可靠的 RBCOD 组分分析结果的实验条件为: ①对于易生物降解含量较高的水质(如由乙酸钠配制的污水), SF 在 2.8 ~ 5.3 范围内, 生长消耗 COD 与生物量比值在 30% 以内; ②对于易生物降解和难生物降解物质适中的水质(如典型生活污水), SF 应在 5.8 ~ 6.4 左右, 生长消耗 COD 与生物量比值在 30% 以内; ③而对于含有大量难生物降解物质的工业废水(垃圾渗滤液), SF 在 15 以下, 且生长消耗 COD 与生物量的比值在 40% 以内。由此可见, 采用呼吸法确定 COD 组分, 其最优条件 SF 范围随碳源的复杂程度的上升而上升。

关键词: COD 组分; 呼吸法; 乙酸钠; 生活污水; 垃圾渗滤液

中图分类号: X830.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)10-3913-05 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.10.048

Experimental Conditions and Reliability Analysis of Results of COD Components

LI Zhi-hua, ZHANG Yin, HAN Xing, YU Ke, LI Ru-jia

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

Abstract: The present study attempts to use $SF(OUR_{\max}/OUR_{\text{en}})$ instead of $S(0)/X(0)$ as an index of optimal initial conditions for determination of COD components by means of respirometry, thereby simplifying the measuring process and the operation can be automated. Further, the ratio of COD consumed by the growth of biomass can be used for the reliability assessment of results. Experimental results show that, experimental conditions for obtaining good results as follows: ①for samples that composed of a large amount of easily biodegradable components(e. g., synthetic wastewater made by sodium acetate), SF should be in the range of 2.8 to 5.3, and the ratio of COD consumed by growth of biomass should be less than 30%; ②for samples that composed of both readily biodegradable and slowly biodegradable components(i. e., typical domestic wastewater), SF should be in the range of 5.8 to 6.4, and the ratio of COD consumed by growth of biomass should be less than 30%; ③and for samples that composed of a large amount of slowly biodegradable industrial wastewater(i. e., landfill leachate), SF should be 15 or less, and the ratio of COD consumed by growth of biomass should be approximately 40%. Therefore, when respirometry is used for the determination of COD components, the optimal conditions in terms of SF increase with the complexity of carbon source.

Key words: COD components; respirometry; sodium acetate; domestic wastewater; landfill leachate

目前, COD 组分的划分已有多种方式, 但最重要的是以生物降解性为基础^[1]。废水 COD 中可生物降解组分(快速易生物降解 COD-RBCOD 和慢速生物降解 COD-SBCOD)是活性污泥过程的直接处理对象^[2]。好氧呼吸测量^[3~6]方法是基于与基质降解过程伴随发生的生物响应。实验获取的 OUR 曲线是否分段明显(包含足够的组分信息和动力学信息)、可解析性高, 这主要由基质和微生物的初始浓度之比 $S(0)/X(0)$ 确定^[7~9]。公认的实验条件是以污水 COD 和污泥浓度 VSS 的比值作为初始 $S(0)/X(0)$ 。有学者建议可以从 $0.6 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ (以 COD/VSS 计)开始^[10], Orhon 等^[4]却认为, $S(0)/X(0)$ 维持在 $0.45 \sim 1.00 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 时即可获取一条清晰的 OUR 曲线。然而合适的 $S(0)/X(0)$ 与废水和污泥的性质有关^[10], 其中一个不同都会得到不同的 OUR 特

性^[11], 从而需反复尝试来获得台阶明显的 OUR 曲线, 这在一定程度上增加了实验的复杂性。到目前为止, 对于 $S(0)/X(0)$ 到底取多少才能使实验获取的信息比较显著, 还不确定^[12,13]。另外有研究表明 $S(0)/X(0)$ 决定了反应器内微生物的生长动力学, 并对实验结果有极大影响^[14]。因此即使已经获得良好的 OUR 曲线, 如果 $S(0)/X(0)$ 相对污泥活性较高时, 合成代谢占优势, 微生物的生长使多组分动力学的解析更复杂。目前对高 $S(0)/X(0)$ 下导致结果偏差大的判断研究甚少。所以建立简单实用、标准化的 COD 组分划分方案是活性污泥模型实际

收稿日期: 2015-02-13; 修订日期: 2015-04-17

基金项目: 陕西省科技计划国际合作项目(2013KW2201); 2013 年博士点基金联合资助课题项目(20136120110002)

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@xauat.edu.cn

应用所面临的一个重要问题^[15]。

OUR 曲线中 OUR_{max} 是微生物对基质利用情况的最大呼吸速率,而污泥的内源呼吸速率与生物量有关^[16]。本研究尝试用 $SF(OUR_{max}/OUR_{en})$ 作为实验条件是否适宜的判定指标,是基于污泥活性与被测试水质相互作用的一个综合参数,同时由生长消耗 COD 与生物量的比值判断计算结果的准确性,改变之前研究认为只要出现良好的台阶就认为实验结果可靠的不足之处。建立标准化的污水 COD 组分表征方法使人们对污水中有机物的组成起到更深入、透彻的了解,以期为污水处理厂的日常运行管理提供更多有价值的信息。

1 材料与方法

1.1 实验材料

材料 1: 污泥 A 和污水 A 取自西安某 A²/O 污水厂, MLSS = 4 680 mg·L⁻¹, COD = 153 mg·L⁻¹; 材料 2: 污泥 B 和污水 B 取自另一某 A²/O 污水厂, MLSS = 6 540 mg·L⁻¹, COD = 260 mg·L⁻¹; 材料 3: 污泥 C 和污水 C 源于某处理垃圾填埋场污水的污水厂, MLSS = 19 200 mg·L⁻¹, COD = 14 068 mg·L⁻¹。

在测定前,将污泥曝气 10 h 左右,使之进入内源呼吸,再用 PBS 缓冲溶液(2 mmol Na₃PO₄, 4 mmol NaH₂PO₄, 9 mmol NaCl 和 1 mmol KCl)清洗污泥,经过搅拌、静沉、去上清液 3 步,重复 3 次,最后将处理好的污泥置于恒温反应器内。实验在西安绿标水环境公司提供的 WBM400 型微生物状态分析平台上进行^[17]。

1.2 实验过程

实验一: 取 7 组 0.6 L 处于内源呼吸的污泥 A, 稀释到 1.2 L, 按照不同的 S(0)/X(0) 比加入不同质量的乙酸钠粉末。

实验二: 将 0.19 L 处于内源呼吸的污泥 A 和 0.11 L 污水 A 混匀, 加入 20 mg·L⁻¹ 的 ATU(丙烯基硫脲)抑制硝化反应。

实验三: 将 4 组 0.19 L 处于内源呼吸的污泥 A 和 0.11 L 污水 A 混匀, 再分别加入 50、100、150、200 mg·L⁻¹ 的 COD(乙酸钠粉末配制)和 20 mg·L⁻¹ 的 ATU。

实验四: 取一定体积处于内源呼吸的污泥 B 和污水 B, 稀释至 1.2 L, 加入 20 mg·L⁻¹ 的 ATU。

实验五: 取 0.17 L 处于内源呼吸的污泥 C 和 0.06 L 污水 C, 稀释到 1.2 L, 加入 20 mg·L⁻¹ ATU。

实验六: 取 0.1 L 处于内源呼吸的污泥 C 和 0.016 L 污水 C, 稀释到 1.2 L, 加入 20 mg·L⁻¹ ATU。

实验七: 取 0.17 L 处于内源呼吸的污泥 C 和 0.06 L 污水 C, 稀释到 1.2 L, 加入 20 mg·L⁻¹ ATU 和 50 mg·L⁻¹ 的 COD(乙酸钠粉末配制)。

呼吸速率采用序批式呼吸计量法测定^[18,19]。实验首先测量各个处于内源呼吸污泥的 OUR_{en} , 待溶解氧 DO 降至 4 mg·L⁻¹ 时开始曝气, 当 DO 上升到 6 mg·L⁻¹ 停止曝气。之后向反应器内依次投加以上实验的材料, 间歇曝气控制 DO 在 (4 ~ 6) mg·L⁻¹ 之间, 以 DO 下降的梯度作为该时段反应器中 OUR 值, 然后监测呼吸速率直至重新回到内源呼吸。

1.3 分析方法

用 SF(spiking factor)^[20] 表征呼吸速率的增长, 由污泥加入基质后的最大呼吸速率 OUR_{max} 与内源呼吸速率 OUR_{en} 之比表示。生长消耗 COD 由 COD_{Deg} 与产率系数 Y_H 的乘积获得, 其中 COD_{Deg} 为微生物可降解的 COD, mg·L⁻¹。采用外加碳源的呼吸计量法(简称生长法)测定异养菌生物量^[21], 采用重铬酸钾法测定废水中的实际 COD^[22]。

2 结果与讨论

2.1 乙酸钠配制的污水

在城市污水的活性污泥处理工艺中, 无论是 RBCOD 还是 SBCOD, 最终主要以乙酸盐的形式被微生物细胞利用^[2]。因此, 实验一选择在污泥 A 中加入乙酸钠作为 RBCOD。

按照不同的 S(0)/X(0) 比分别向处于内源呼吸的污泥 A 中加入乙酸钠, 得到的 $OUR-t$ 结果如图 1 所示。可以看出, 在 S(0)/X(0) 小于 0.06 时, 基质尚未饱和, OUR 曲线中 RBCOD 降解的平台不明显; 当 S(0)/X(0) 大于 0.06 时, S(0) 已饱和, 因 RBCOD 与 SBCOD 降解速率差异产生的突变已很明显。计算结果如表 1 所示。

由表 1 中可看出, 当 S(0)/X(0) 从 0.02 逐步增加至 0.15 时, RBCOD 的实测值与理论值相差不大, 表明此条件下 RBCOD 的计算结果可靠, 同时发现 SF 此时在 2.8 ~ 5.3 范围内变化, 且生长消耗 COD 占生物量的比值在 30% 之内。当 S(0)/X(0) 从 0.15 增加到 0.25 时, 实测值与理论值的误差高于 20%。Wentzel 等^[23]认为, 在高 S(0)/X(0) 条件下, OUR 降解曲线非常明显, 并且不同组分的区分也相对容易, 但是实验过程中微生物的大量生长使得多组分的动力学解析更加复杂。Novák 等^[24]也认

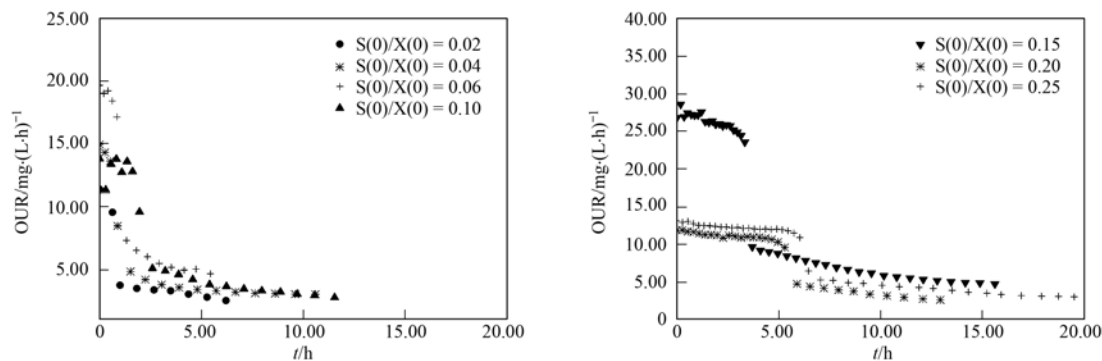


图1 不同 S(0)/X(0) 下的 OUR 曲线

Fig. 1 OUR curves under different S(0)/X(0) conditions

表1 加入乙酸钠作为 RBCOD 的计算结果

Table 1 Calculation results by adding sodium acetate as RBCOD

S(0)/X(0)	0.02	0.04	0.06	0.10	0.15	0.20	0.25
SF	2.8	4.3	3.6	4.2	5.3	3.5	3.9
生长消耗 COD/生物量/%	3	7	7	18	32	36	46
理论 RBCOD/mg·L ⁻¹	22	46	69	114	307	229	286
实测 RBCOD/mg·L ⁻¹	27	47	66	92	284	178	134
误差/%	16	3	4	19	7	22	53

为高 S(0)/X(0) 虽然可使实验获取的 OUR 曲线分段明显、可解析性高、组分信息充分,但由于反应时间过长,微生物有足够时间氧化、分解有机物,导致微生物的最大比增长速率和基质降解速率发生变化,并最终导致可快速增长的微生物大量繁殖,生长速度较慢的微生物受到抑制,从而使污泥中的微生物种群结构发生变化. 从而可以看出,即使在合适的 S(0)/X(0) 比值下出现了明显的台阶,但计算结果也会在 S(0)/X(0) 相对于污泥活性较高时产生偏差,此时 SF 虽也在 2.8~5.3 范围内变化,但生长消耗 COD 占生物量的比值已增大至 46%.

因此对于易生物降解含量较高的水质,可控制 SF 在 2.8~5.3 范围内来作为合适的实验条件使 OUR 曲线产生明显的台阶,同时由生长消耗 COD 占生物量的比值在 30% 之内来判断计算结果的可靠性.

2.2 实际污水分析

实验二是基于生活污水 A 的测量,初始 S(0)/X(0) 比为 0.45,结果如图 2 所示.

将图中 OUR 与时间 t 的曲线积分,得出污水 A 的总耗氧量为 7.57 mg·L⁻¹,由公式(1):

$$\text{COD}_{\text{Deg}} = \frac{\text{生物降解基质的耗氧量}}{1 - Y_H} \quad (1)$$

式中, COD_{Deg} 为微生物可降解 COD; Y_H 为产率系数,取典型值 0.67.

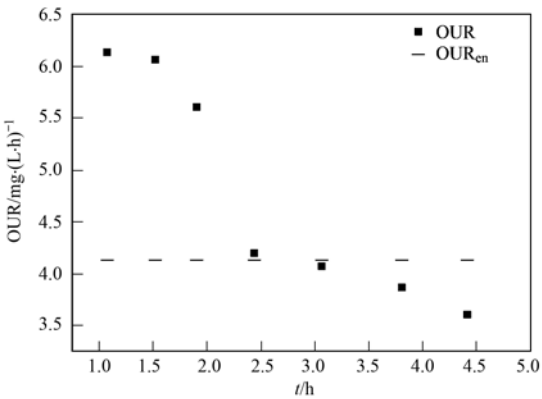


图2 生活污水 A 的 OUR 曲线

Fig. 2 OUR curve of domestic wastewater A

计算得出生活污水 A 的可生化降解 COD_{Deg} 为 103.23 mg·L⁻¹. 图 2 所示曲线中未出现明显的 SBCOD 降解的平台,而是很快进入内源衰减阶段,从而导致无法计算 SBCOD 组分. 为此,本研究尝试向未知废水中,加入已知浓度分别为 50、100、150、200 mg·L⁻¹ 的快速易生物降解 COD. 从图 3 可看出,OUR 曲线中明显得到 RBCOD 与 SBCOD 降解的平台. 计算结果如表 2 所示.

从表 2 中可以看出,当 S(0)/X(0) 从 0.02 逐步增加至 0.06 时,RBCOD 的增加量分别为 57、54 mg·L⁻¹,与标准添加量 50 mg·L⁻¹ 近似,表明 RBCOD 的结果计算可靠,此时 SF 在 5.8~6.4 之间,同时生长消耗 COD 占生物量比值也在 30% 以

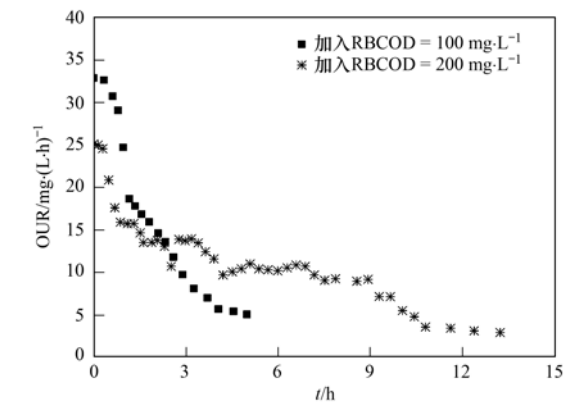


图3 向污水 A 中分别加入 100、200 mg·L⁻¹的 RBCOD 后的 OUR 曲线

Fig. 3 OUR curves by adding 100、200 mg·L⁻¹ RBCOD to domestic wastewater A

内。但是当 $S(0)/X(0)$ 从 0.6 增加至 0.1 时, RBCOD 增加量为 $167\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 这与实际增加量 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 有较大差异, 表明 RBCOD 的计算结果不可靠, 此时 SF 也增大到 7.3, 生长消耗 COD 占生物量比值为 49%。同样, 当 $S(0)/X(0)$ 为 0.02、0.04 和 0.06 时, 3 种条件下 SBCOD 相差不大, 表明实际废水的 SBCOD 为 $99\sim104\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。而 $S(0)/X(0)$ 为 0.1 时, SBCOD 计算结果为 $43\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 明显小于实际废水值, 表明此条件下 SBCOD 的计算结果不可靠。

表2 向污水 A 中加入不同浓度乙酸钠的计算结果
Table 2 Calculation results by adding different concentrations of sodium acetate to domestic wastewater A

$S(0)/X(0)$	0.02	0.04	0.06	0.1
SF	6.4	5.8	6.2	7.3
生长消耗 COD/生物量/%	14	17	33	49
总 COD(废水 + 乙酸钠)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	106	156	206	256
乙酸钠贡献的 COD 量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	50	100	150	200
RBCOD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	45	102	156	333
SBCOD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	99	104	103	43

从而可以看出, 对于易生物降解和难生物降解物质适中的水质, SF 在 5.8~6.4, 且相应的生长消耗 COD 占生物量比值也需在 30% 以内, 由呼吸法测量计算出的此污水中的 RBCOD 的结果准确性高。

基于污水 A 得到的结论, 现对另一生活污水 B 和垃圾渗滤液 C 的组分进行分析, 结果如表 3 所示。

在生活污水 B 的实验中, 不需准确知道污泥的 MLSS 和污水的 COD, 加入一定体积的污泥和污水后, 尽量控制 SF 在 7 左右, 发现比值不合适时, 及时调整。最终实验 SF 为 6.2, 生物消耗 COD 占生物量比值为 17%, 计算结果可靠性高。

表3 生活污水 B 和垃圾渗滤液 C 的计算结果

Table 3 Calculated results of domestic wastewater B and landfill leachate C

项目	污水 B	污水 C	污水 C	污水 C
SF	6.2	10.9	14.4	25.2
总 COD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	130	232	705	755
乙酸钠贡献的 COD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0	0	0	50
RBCOD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	27	118	339	402
SBCOD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	24	209	383	639
生长消耗 COD/生物量/%	17	30	39	56
RBCOD/总 COD/%	21	51	48	85
SBCOD/总 COD/%	18	90	54	85

而污水 C 为垃圾渗滤液, 进水含有高浓度难降解有机物, 大分子有机质降解成可利用的小分子物质需要时间较长^[25]。在对污水 C 两次分析的实验中, RBCOD 占总 COD 分别为 51% 和 48%, 说明两次 RBCOD 结果近似, 计算结果可靠, 此时 SF 在 15 以内, 生长消耗 COD 占生物量比值在 40% 左右。而在污泥 C 和污水 C 中加入 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ COD 后, 计算出的 RBCOD 增加量相对 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的误差是 25%, 表明计算结果不可靠, 此时 SF 已增加至 25.2, 且生长消耗 COD 占生物量比值在 56%。

因此对于此类污水, 此实验初步得出此类污水 SF 在 15 左右以下时, 且生长消耗 COD 占生物量比值在 40% 以内, 由呼吸法测量计算出的废水中的 RBCOD 的结果准确性高。

通过分析 3 种不同水质的结果, 发现乙酸钠配制的污水、城市污水和江村沟污水的 SF 范围随碳源的复杂程度的上升而上升, 这可能与污水的难降解程度有关。

同时发现表 3 中针对污水 C 的 3 次实验中 SBCOD 结果差距很大。Mathieu 等^[26]的高、低 $S(0)/X(0)$ 结合实验表明, 高 $S(0)/X(0)$ 下可获得更多的组分信息, 并且两组实验同时拟合与单独高 $S(0)/X(0)$ 拟合相比, 得到的 RBCOD 没有明显差别, 但 SBCOD 偏差较大, 因为低 $S(0)/X(0)$ 能更好地区分水解动力学和内源呼吸, 并且微生物降解基质过程中产生的慢速可降解代谢产物也是无法精确计算污水中 SBCOD 的原因。所以这也是生物法要精确测量污水中 SBCOD 的一个亟待解决的问题。

3 结论

(1) 利用 SF 作为呼吸法确定 COD 组分最优实验条件的参数, 其优点是适用性更广, 在实验初始阶段发现改值不合适时即可立即进行调整, 不需等耗

时较长的所有测试过程结束后反复尝试确定实验条件,从而简化测量过程且可实现自动化操作. 实验结果表明,乙酸钠配制的污水、城市污水、垃圾渗滤液的 SF 随碳源的复杂程度的上升而上升.

(2)建立了由生长消耗 COD 占生物量比值判断计算结果可靠性的指标,即对于生活污水,所占比值在 30% 以内时认为计算 RBCOD 结果的可靠性高,而对于工业废水,二者的比值需在 40% 以内.

参考文献:

- [1] Dold P L, Ekama G A, Marais G V. A general model for the activated sludge process [J]. *Progress in Water Technology*, 1980, **12**(6): 44-77.
- [2] 卢培利, 艾海强, 张代钧, 等. 废水 COD 组分表征方法体系构建与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2011. 58-72.
- [3] Spérandio M, Urbain V, Ginestet P, *et al.* Application of COD fractionation by a new combined technique: comparison of various wastewaters and sources of variability [J]. *Water Science & Technology*, 2000, **43**(1): 181-190.
- [4] Orhon D, Ateş E, Sözen S, *et al.* Characterization and COD fractionation of domestic wastewaters [J]. *Environmental Pollution*, 1997, **95**(2): 191-204.
- [5] Orhon D, Okutman D. Respirometric assessment of residual organic matter for domestic sewage [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2003, **32**(5): 560-566.
- [6] Yildiz G, Insel G, Cokgor E U, *et al.* Respirometric assessment of biodegradation for acrylic fibre-based carpet finishing wastewaters [J]. *Water Science & Technology*, 2007, **55**(10): 99-106.
- [7] Ekama G A, Dold P L, Marais G V R. Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems [J]. *Water Science & Technology*, 1986, **18**(6): 91-114.
- [8] Kappeler J, Gujer W. Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic conditions and characterization of wastewater for activated sludge modelling [J]. *Water Science & Technology*, 1992, **25**(6): 125-139.
- [9] Chudoba P, Capdeville B, Chudoba J. Explanation of biological meaning of the S_0/X_0 ratio in batch cultivation [J]. *Water Science & Technology*, 1992, **26**(3-4): 743-751.
- [10] Sollfrank U, Gujer W. Characterisation of domestic wastewater for mathematical modelling of the activated sludge process [J]. *Water Science & Technology*, 1991, **23**(4-6): 1057-1066.
- [11] 张代钧, 艾海男, 卢培利, 等. 混合呼吸仪同时表征废水 RBCOD 和 SBCOD 组分 [J]. *环境科学*, 2009, **30**(8): 2293-2296.
- [12] Leslie Grady C P Jr, Smets B F, Barbeau D S. Variability in kinetic parameter estimates: a review of possible causes and a proposed terminology [J]. *Water Research*, 1996, **30**(3): 742-748.
- [13] Vazquez-Rodriguez G, Palluy F, Goma G, *et al.* Procedures in ready biodegradability testing: effects of the inoculation and the monitored parameter [J]. *Environmental Technology*, 1999, **20**(3): 301-308.
- [14] Liu Y, Liu Q S, Tay J H. Initial conditions-dependent growth kinetics in microbial batch culture [J]. *Process Biochemistry*, 2005, **40**(1): 155-160.
- [15] 周振, 吴志超, 王志伟, 等. 基于活性污泥模型的污水 COD 组分划分方案研究 [J]. *环境科学*, 2010, **31**(6): 1478-1482.
- [16] Ramdani A, Dold P, Déléris S, *et al.* Biodegradation of the endogenous residue of activated sludge [J]. *Water Research*, 2010, **44**(7): 2179-2188.
- [17] 李志华, 孙垂猛, 柴波. 不同类型活性污泥内源呼吸过程的典型特征解析 [J]. *中国给水排水*, 2015, **31**(7): 25-28.
- [18] Zielińska M, Bernat K, Cydzik-Kwiatkowska A, *et al.* Respirometric activity of activated sludge in sequencing batch reactor depending on substrate and dissolved oxygen concentration [J]. *Environment Protection Engineering*, 2012, **38**(2): 41-49.
- [19] 黄满红, 李咏梅, 顾国维, 等. 呼吸计量法在活性污泥系统废水特性测定中的应用 [J]. *工业水处理*, 2005, **25**(9): 58-60, 70.
- [20] Strotmann U J, Geldern A, Kuhn A, *et al.* Evaluation of a respirometric test method to determine the heterotrophic yield coefficient of activated sludge bacteria [J]. *Chemosphere*, 1999, **38**(15): 3555-3570.
- [21] 吴志超, 周振, 王志伟, 等. 活性污泥系统中异养微生物浓度的测定 [J]. *中国环境科学*, 2008, **28**(10): 910-914.
- [22] 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. 105-108, 210-213.
- [23] Wentzel M C, Mbewe A, Ekama G A. Batch test for measurement of readily biodegradable COD and active organism concentrations in municipal waste waters [J]. *Water SA*, 1995, **21**(2): 117-124.
- [24] Novák L, Larrea L, Wanner J. Estimation of maximum specific growth rate of heterotrophic and autotrophic biomass: A combined technique of mathematical modelling and batch cultivations [J]. *Water Science & Technology*, 1994, **30**(11): 171-180.
- [25] 韩芸, 杨永哲, 刘可, 等. 垃圾渗滤液及处理出水的有机物 MW 分布 [J]. *中国给水排水*, 2006, **22**(1): 88-91.
- [26] Mathieu S, Etienne P. Estimation of wastewater biodegradable COD fractions by combining respirometric experiments in various S_0/X_0 ratios [J]. *Water Research*, 2000, **34**(4): 1233-1246.

CONTENTS

Source Contribution Analysis of the Fine Particles in Shanghai During a Heavy Haze Episode in December, 2013 Based on the Particulate Matter Source Apportionment Technology	LI Li, AN Jing-yu, YAN Ru-sha (3543)
Transformation Mechanism and Sources of Secondary Inorganic Components in PM _{2.5} at an Agriculture Site (Quzhou) in the North China Plain in Summer	CHEN Shi-yi, ZENG Li-min, DONG Hua-bin, <i>et al.</i> (3554)
Pollution Level and Sources of Organic Phosphorus Esters in Airborne PM _{2.5} in Chengdu City	YIN Hong-ling, LI Shi-ping, YE Zhi-xiang, <i>et al.</i> (3566)
Simulation Study of the Emission of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Sugar Alcohols from Biomass Burning	HUANG Shuai, HUANG Xin-yi, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (3573)
Characteristics and Parameterization for Atmospheric Extinction Coefficient in Beijing	CHEN Yi-na, ZHAO Pu-sheng, HE Di, <i>et al.</i> (3582)
Photocatalytic Degradation of Gaseous Toluene by a Photo-Fenton Reaction	ZHENG Si-can, CHEN Tian-hu, LIU Hai-bo, <i>et al.</i> (3590)
Emission of PCDD/Fs from Crematories and Its Influencing Factors	YIN Wen-hua, YU Xiao-wei, HAN Jing-lei, <i>et al.</i> (3596)
Odor Emission Characteristics from Biochemical Treatment Facilities of Kitchen Waste in China	ZHANG Yan, WANG Yuan-gang, LU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (3603)
Temporal and Spatial Characteristics of Lake Taihu Surface Albedo and Its Impact Factors	CAO Chang, LI Xu-hui, ZHANG Mi, <i>et al.</i> (3611)
Remote Sensing Inversion of Diffuse Attenuation Coefficient in Lake Taihu Based on the GOCI Images	WANG Shan-shan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (3620)
Porewater Dissolved Methane in <i>Cyperus malaccensis</i> Marshes Along Salinity Gradient in the Minjiang River Estuary	YANG Ping, ZHANG Zi-chuan, DU Wei-ning, <i>et al.</i> (3633)
Stable Isotopes Characters of Soil Water Movement in Shijiazhuang City	CHEN Tong-tong, CHEN Hui, HAN Lu, <i>et al.</i> (3641)
Seasonal Variations in Vertical Profile of Hg Species and the Influential Factors in Changshou Reservoir	BAI Wei-yang, ZHANG Cheng, TANG Zhen-ya, <i>et al.</i> (3649)
Nutrient Characteristics and Nitrogen Forms of Rhizosphere Soils Under Four Typical Plants in the Littoral Zone of TGR	WANG Xiao-feng, YUAN Xing-zhong, LIU Hong, <i>et al.</i> (3662)
Exchange Fluxes and Coupling Relationship of Dissolved Inorganic Carbon and Dissolved Organic Carbon Across the Water-Sediment Interface in Lakes	WANG Wei-ying, LÜ Chang-wei, HE Jiang, <i>et al.</i> (3674)
Mass Transport in Porous Sediments During a Turbulent Disturbance	LI Shao-long, CHEN Dao-yi (3683)
Characterization of Pollutant Wash-off in the Urban Stormwater	WU Jun-liang, REN Yu-fen, WANG Xue-mei, <i>et al.</i> (3691)
Research of the Stormwater Runoff and Pollution Characteristics in Rural Area of Yuhang District, Hangzhou	DUAN Sheng-hui, ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, <i>et al.</i> (3697)
Formation and Variation of Brominated Disinfection By-products in A Combined Ultrafiltration and Reverse Osmosis Process for Seawater Desalination	YANG Zhe, SUN Ying-xue, SHI Na, <i>et al.</i> (3706)
Effect of Natural Organic Matter and Electrolytes on the Aggregation of C ₆₀ Nanoparticles in Aquatic Systems	FANG Hua, JING Jie, YU Jiang-hua, <i>et al.</i> (3715)
Efficiency of Sediment Amendment with Zirconium-Modified Kaolin Clay to Control Phosphorus Release from Sediments in Heavily Polluted Rivers	WANG Hong, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (3720)
Transformation of Nitrogen Nutrients in the Urban Sewage Pipe Network	JIN Peng-kang, JIAO Ding, REN Wu-ang (3730)
Application of Micro-aerobic Hydrolysis Acidification in the Pretreatment of Petrochemical Wastewater	ZHU Chen, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3738)
Efficacy of A ² /O-MBR Combined Process in Wastewater Treatment and the Characteristics of Membrane Fouling	WANG Xu-dong, MA Ya-bin, WANG Lei, <i>et al.</i> (3743)
Effect of High Ammonium on Nitrogen Removal in an Partial Nitrification-ANAMMOX Process with Reflux System	LI Xiang, CUI Jian-hong, YUAN Yan, <i>et al.</i> (3749)
Reductive Dechlorination of Trichloroethylene by Benzoate-Enriched Anaerobic Cultures	LI Jiang-wei, YANG Xiao-yong, HU An-yi, <i>et al.</i> (3756)
2,4,6-Trichlorophenol Mineralization Promoted by Anaerobic Reductive Dechlorination of Acclimated Sludge and Extracellular Respiration Dechlorination Pathway	SONG Jia-xiu, LI Ling, SHENG Fan-fan, <i>et al.</i> (3764)
Short or Long Term Influence of Phenol on Nitrogen Removal Efficiency of ANAMMOX Sludge	YANG Peng-bing, LI Xiang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (3771)
Process Optimization of Aerobic Granular Sludge Continuous-Flow System for the Treatment of Low COD/N Ratio Sewage	LU Lei, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i> (3778)
Long-Term Inhibition of FNA on Aerobic Phosphate Uptake and Variation of Phosphorus Uptake Properties of the Sludge	MA Juan, LI Lu, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (3786)
Performance and Factors Analysis of Sludge Dewatering in Different Wastewater Treatment Processes	LIU Ji-bao, LI Ya-ming, LÜ Jian, <i>et al.</i> (3794)
Effect of Residual Hydrogen Peroxide on Hydrolysis Acidification of Sludge Pretreated by Microwave -H ₂ O ₂ -Alkaline Process	JIA Rui-lai, LIU Ji-bao, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (3801)
Vertical Distribution Characteristics of Typical Forest Soil Organic Nitrogen in Dawei Mountain	DING Xian-qing, MA Hui-jing, ZHU Xiao-long, <i>et al.</i> (3809)
Effects of Different Land Uses on Soil Active Organic Carbon and Nitrogen Fractions in Jinyun Mountain	QI Xin, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (3816)
Control of Soil Nutrient Loss of Typical Reforestation Patterns Along the Three Gorges Reservoir Area	WU Dong, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (3825)
Effects of Slope Position and Soil Horizon on Soil Microbial Biomass and Abundance in Karst Primary Forest of Southwest China	FENG Shu-zhen, SU Yi-rong, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (3832)
Effects of Different Plantation Type on the Abundance and Diversity of Soil Microbes in Subtropical Red Soils	SHEN Bing-jie, ZHU Zhen-ke, YUAN Hong-zhao, <i>et al.</i> (3839)
Accumulation of Mercury in Soil-maize System of Non-ferrous Metals Smelting Area and Its Related Risk Assessment	JI Xiao-feng, ZHENG Na, WANG Yang, <i>et al.</i> (3845)
Effects of Different Modifier Concentrations on Lead-Zinc Tolerance, Subcellular Distribution and Chemical Forms for Four Kinds of Woody Plants	CHEN Yong-hua, ZHANG Fu-yun, WU Xiao-fu, <i>et al.</i> (3852)
Isolation, Purification and Identification of Antialgal Activity Substances of Ethyl Acetate Extracts from the Submerged Macrophytes <i>Potamogeton crispus</i>	SUN Ying-ying, SU Zhen-xia, PU Yin-fang, <i>et al.</i> (3860)
Distribution Characteristics and Potential Risk of CBs in Aquatic Organisms from Typical Epidemic Areas of Schistosomiasis Prevalence	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (3866)
Application of Whole-cell Biosensor ADPI _p WHlux for Acute Toxicity Detection in Water Environment	TANG Hui, SONG Yi-zhi, JIANG Bo, <i>et al.</i> (3872)
Application of Rainbow Trout CYP1 Gene Expression Patterns in Gill and Liver for Haihe River Bio-monitoring	GAO Kai, YAN Pei, TAN Cui-ling, <i>et al.</i> (3878)
Toxic Effect of Nano-ZnO in Liver of Zebrafish	LIU Lin, ZHAO Qun-fen, JIN Kai-xing, <i>et al.</i> (3884)
Acute Toxicity of <i>Coptis chinensis</i> Rhizome Extracts to <i>Daphnia carinata</i>	CHEN Ya-nan, YUAN Ling (3892)
Adsorption-desorption Characteristics of Fermented Rice Husk for Ferrous and Sulfur Ions	XIE Xiao-mei, LIAO Min, HUA Jia-yuan, <i>et al.</i> (3896)
Application of Stir Bar Sorptive Extraction and Gas Chromatograph Mass Spectrometer to the Phthalic Acid Esters Analysis in Seawater	GAO Chen-chen, LI Feng-min, LU Lun, <i>et al.</i> (3906)
Experimental Conditions and Reliability Analysis of Results of COD Components	LI Zhi-hua, ZHANG Yin, HAN Xing, <i>et al.</i> (3913)
Method for Simultaneous Determination of 11 Veterinary Antibiotics in Piggery Wastewater and Sludge and Its Application in Biological Treatment	DING Jia-li, LIU Rui, ZHENG Wei, <i>et al.</i> (3918)
Research Progress in Technology of Using Soil Micro-organisms to Generate Electricity and Its Potential Applications	DENG Huan, XUE Hong-jing, JIANG Yun-bin, <i>et al.</i> (3926)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2015年10月15日 第36卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 10 Oct. 15, 2015

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: 120.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行