

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第1期

Vol.36 No.1

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

2013年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市O ₃ 来源识别	李浩, 李莉, 黄成, 安静宇, 严茹莎, 黄海英, 王杨君, 卢清, 王倩, 楼晟荣, 王红丽, 周敏, 陶士康, 乔利平, 陈明华(1)
厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势	徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊(11)
近10年海南岛大气NO ₂ 的时空变化及污染物来源解析	符传博, 陈有龙, 丹利, 唐家翔(18)
稻草烟尘中有机碳/元素碳及水溶性离子的组成	洪蕾, 刘刚, 杨孟, 徐慧, 李久海, 陈惠雨, 黄柯, 杨伟宗, 吴丹(25)
气相色谱-脉冲氦离子化检测法(GC-PDHID)分析大气中分子氢(H ₂)浓度	栾天, 方双喜, 周凌晔, 王红阳, 张根(34)
小浪底水库影响下的黄河花园口站和小浪底站pCO ₂ 特征及扩散通量	张永领, 杨小林, 张东(40)
夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究	李江萍, 张洪海, 杨桂朋(49)
基于Landsat 8影像估算新安江水库总悬浮物浓度	张毅博, 张运林, 查勇, 施坤, 周永强, 王明珠(56)
温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别	马小雪, 王腊春, 廖玲玲(64)
人类活动影响下水化学特征的影响: 以西江中上游流域为例	于爽, 孙平安, 杜文越, 何师意, 李瑞(72)
太湖梅梁湾不同形态磷周年变化规律及藻类响应研究	汪明, 武晓飞, 李大鹏, 李祥, 黄勇(80)
鄱阳湖沉积物可转化态氮分布特征及其对江湖关系变化的响应	沈洪艳, 张绵绵, 倪兆奎, 王圣瑞(87)
影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析	李艳利, 李艳粉, 徐宗学(94)
水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响	刁晓君, 李一葳, 王曙光(107)
蓝藻水华聚集对水葫芦生理生态的影响	吴婷婷, 刘国锋, 韩士群, 周庆, 唐婉莹(114)
汞在小浪底水库的赋存形态及其时空变化	程柳, 毛宇翔, 麻冰涓, 王梅(121)
三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征	王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇, 余亚伟(130)
三峡库区农林复合小流域水体汞的时空变化特征	赵铮, 王娅, 木志坚, 王定勇(136)
环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响	宋娇艳, 木志坚, 王强, 杨志丹, 王法(143)
三峡库区消落带土壤中溶解性有机质(DOM)吸收及荧光光谱特征	高洁, 江韬, 李璐璐, 陈雪霜, 魏世强, 王定勇, 闫金龙, 赵铮(151)
舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光-平行因子分析	周倩倩, 苏荣国, 白莹, 张传松, 石晓勇(163)
太原市小店污灌区地下水中多环芳烃与有机氯农药污染特征及分布规律	李佳乐, 张彩香, 王焰新, 廖小平, 姚林林, 刘敏, 徐亮(172)
厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估	程启明, 黄青, 廖祯妮, 苏丽, 刘兴强, 唐剑锋(179)
两种不同的地下水污染风险评价体系对比分析: 以北京市平原区为例	王红娜, 何江涛, 马文洁, 许真(186)
大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价	张家泉, 李秀, 张全发, 李琼, 肖文胜, 王永奎, 张建春, 盖希光(194)
铁盐絮凝法从阳宗海湖水中除砷研究与现场扩大试验	陈景, 张曙, 杨项军, 黄章杰, 王世雄, 王莞, 韦群燕, 张艮林, 肖军(202)
铋银氧化物混合物高效氧化降解四溴双酚A的研究	陈满堂, 宋洲, 王楠, 丁耀彬, 廖海星, 朱丽华(209)
一种纳米级不定形碳对水中四环素的吸附研究	吴亦潇, 李爱民, 汪的华, 张维昊(215)
磁性壳聚糖衍生物对阴离子染料的吸附行为	张聪璐, 胡筱敏, 赵研, 苏雷(221)
腐殖酸-高岭土复合体形成机制及对三氯乙烯的吸附	朱晓婧, 何江涛, 苏思慧(227)
降温过程对ANAMMOX工艺城市污水处理系统中微生物群落的影响	赵志瑞, 苗志加, 李铎, 崔丙健, 万敬敏, 马斌, 白志辉, 张洪勋(237)
FISH-NanoSIMS技术在环境微生物生态学上的应用研究	陈晨, 柏耀辉, 梁金松, 袁林江(244)
微囊藻毒素-LR对恶臭假单胞菌细胞活性和表面特性的影响	邓庭进, 叶锦韶, 彭辉, 刘芷辰, 刘则华, 尹华, 陈烁娜(252)
微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化	曾苏, 李南华, 盛洪产, 贺琨, 胡子全(259)
舟山青浜岛水体及海产品中有机氯农药的分布和富集特征	张泽洲, 邢新丽, 顾延生, 桂福坤, 祁士华, 黄焕芳, 瞿程凯, 张莉(266)
四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究	周莹, 孙一鸣, 金军, 雷建容, 秦贵平, 何雪珠, 林允静(274)
铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用	徐冬梅, 王彦华, 王楠, 饶桂维(280)
外源硒对黄瓜抗性、镉积累及镉化学形态的影响	熊仕娟, 刘俊, 徐卫红, 谢文文, 陈蓉, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体(286)
厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征	洪振宇, 洪有为, 尹丽倩, 陈进生, 陈衍婷, 徐玲玲(295)
洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素	商靖敏, 罗维, 吴光红, 徐兰, 高佳佳, 孔佩儒, 毕翔, 程志刚(301)
不同钝化剂对重金属污染土壤稳定化效应的研究	吴烈善, 曾东梅, 莫小荣, 吕宏虹, 苏翠翠, 孔德超(309)
畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化	商和平, 李洋, 张涛, 苏德纯(314)
华南某市生活垃圾组成特征分析	张海龙, 李祥平, 齐剑英, 陈永亨, 方建德(325)
生物沥浸耦合类Fenton氧化调理城市污泥	刘昌庚, 张盼月, 蒋娇娇, 曾成华, 黄毅, 徐国印(333)
基于平面波导型荧光免疫传感器的双酚A检测适用性研究	徐玮琦, 张永明, 周小红, 施汉昌(338)
一种新型“Turn-on”荧光探针用于硫化氢可视化检测	刘春霞, 马兴, 魏国华, 杜宇国(343)
典型黄土区油松树干液流变化特征分析	张涵丹, 卫伟, 陈利顶, 于洋, 杨磊, 贾福岩(349)
利用巨藻发酵产氢气与挥发性有机酸的研究	赵晓娟, 范晓蕾, 郭荣波, 薛志欣, 杨智满, 袁宪正, 邱艳玲(357)
人工纳米颗粒在水体中的行为及其对浮游植物的影响	李曼璐, 姜玥璐(365)
《环境科学》征订启事(251) 《环境科学》征稿简则(294) 信息(236, 243, 273, 300)	

基于 Landsat 8 影像估算新安江水库总悬浮物浓度

张毅博^{1,2}, 张运林^{2*}, 查勇¹, 施坤², 周永强^{2,3}, 王明珠^{2,3}

(1. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 总悬浮物(total suspended matter, TSM)决定着水下光场分布, 进而影响水体的初级生产力, 其浓度也是水质和水环境评价的重要参数之一。本研究构建了基于 Landsat 8 影像数据的较为清洁的新安江水库 TSM 的遥感估算模型, 并给出了该水体 TSM 浓度的空间分布特征。结果表明, 对该水体 TSM 浓度较为敏感波段为 Landsat 8 第二、三和八波段, 线性相关的决定系数分别为 0.37、0.51 和 0.42。然而, 以上任何一个波段都无法单独用于准确地提取该区 TSM 浓度, 而利用以上 3 个波段构建的多元回归模型能够给出较为准确的估算结果, 模型决定系数为 0.92, 平均相对误差为 11%, 均方根误差为 0.16 mg·L⁻¹。新安江水库 TSM 浓度整体较低, 变化范围为 0.04 ~ 24.54 mg·L⁻¹, 平均浓度为 2.19 mg·L⁻¹。高浓度部分位于湖的边缘区以及一些湖湾枝杈, 如: 枫树岭水域、汾口水域、威坪水域、安阳水域、大墅水域、临歧水域等, 主要是受入湖河流以及邻近水域采砂活动的影响。因此研究认为利用 Landsat 8 数据的 3 个波段, 采用多元回归模型能够较好地估算较清洁水体的 TSM 浓度。

关键词: Landsat 8; 新安江水库; 总悬浮物; 经验方法; 遥感估算

中图分类号: X87 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0056-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.01.008

Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data

ZHANG Yi-bo^{1,2}, ZHANG Yun-lin^{2*}, ZHA Yong¹, SHI Kun², ZHOU Yong-qiang^{2,3}, WANG Ming-zhu^{2,3}

(1. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Key Laboratory of Virtual Geographical Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Total suspended matter(TSM) plays an important role in determining the underwater light climate, which then affects the lake primary production. Therefore, TSM concentration is an important parameter for lake water quality and water environment assessment. This study developed an empirical estimation model and presented the spatial distribution of TSM concentration for the relatively clear Xin'anjiang Reservoir based on the in situ ground data and the matching Landsat 8 data. The results showed that Band 2, Band 3 and Band 8 of Landsat 8 data were the sensitive bands of TSM estimation in Xin'anjiang Reservoir with the linear determination coefficients of 0.37, 0.51 and 0.42, respectively. However, the linear models using Band 2, Band 3 and Band 8 could not give a reasonable and satisfying estimation accuracy. Therefore, a three-band combination estimation model of TSM concentration using Band 2, Band 3 and Band 8 was calibrated and validated to improve the TSM concentration estimation accuracy. The determination coefficient, mean relative error and root mean square error were 0.92, 11% and 0.16 mg·L⁻¹, respectively for the three-band combination model. Overall, the TSM concentration was relatively low in Xin'anjiang Reservoir, ranging from 0.04 to 24.54 mg·L⁻¹ with a mean value of 2.19 mg·L⁻¹. Higher TSM concentrations were distributed in the nearshore zones and small bays such as Fengshuling bay, Fenkou bay, Weiping bay, Anyang bay, Dashu bay and Linqi bay, which were affected by input rivers rainfall and human dredging activity. Therefore, this study demonstrated that the combination of three bands using Landsat 8 data could be used to estimate the TSM concentration in the relatively clear Xin'anjiang Reservoir.

Key words: Landsat 8; Xin'anjiang Reservoir; total suspended matters; empirical method; remote sensing estimation

水体中的总悬浮物(total suspended matter, TSM)对光具有强烈的吸收和散射作用, 悬浮物浓度的分布直接决定着光在水体中的传播, 从而影响着水体的透明度、真光层深度等光学参数^[1,2], 进而影响湖泊热量收支、水生生物的生长和水体初级生产力^[3]。在遥感卫星发射之前, TSM 浓度只能通过巡航采样获得, 传统的处理方法缺乏空间性和实时性

以致测得的湖泊环境与实际情况相距较大^[4]。然

收稿日期: 2014-07-22; 修订日期: 2014-08-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41325001); 江苏省杰出青年基金项目(BK2012050); 中国科学院南京地理与湖泊研究所“一三五”重点布局项目(NIGLAS2012135003); 江苏省自然科学基金项目(BK20141515)

作者简介: 张毅博(1990~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为湖泊环境遥感, E-mail: hbxgzyb@126.com

* 通讯联系人, E-mail: ylzhang@niglas.ac.cn

而,随着湖泊水色遥感的发展,TSM 浓度的空间分布和动态变化可以通过全球覆盖的遥感技术加以监测. 因此,利用遥感卫星监测 TSM 浓度变化已经获得了广泛的关注并且在湖泊水色领域已经取得诸多进展^[5]. 归纳起来利用遥感估算 TSM 的方法主要有基于分析的方法^[6~8]、基于半分析的方法^[9~13]和基于经验的方法^[14~17],而目前以经验和半分析方法为主. 分析方法的机制较为明确,但较为复杂^[18];半分析的方法会因为受到光学测量误差的影响而限制此法的应用^[12];经验的方法简单易于构建,而且在某种程度上可以降低大气校正误差带来的影响^[14].

国内外基于经验方法对 TSM 浓度的研究多集中在较高浓度水体. 马荣华等^[19]利用 Landsat ETM 数据的算术组合 ETM4/ETM1 较好地估测了太湖总悬浮物浓度; 郭明权等^[20]以 TM2、TM3 和 TM3/TM2 为自变量通过最小二乘法拟合得到的指数模型可以有效反演渤海总悬浮浓度; 温小乐等^[21]构建了以 TM3 + TM2 为自变量的闽江下游悬浮物估算模型,相关系数达到 0.8; 管义国等^[22]以 Landsat TM/ETM + 为数据源对其 3、4 波段进行加法运算估算巢湖悬浮物浓度; Dekker 等^[23]利用 Landsat TM 的 2、3 波段为变量对弗里斯兰湖区(Fluessen 湖泊、Sneekemeer 湖泊、Groote Brekken 湖泊、Koevordermeer 湖泊、Tjeukemeer 湖泊和 Slotemeer 湖泊)总悬浮浓度进行估算. 这些湖泊年均 TSM 浓度分别为 (61 ± 50) 、 (15 ± 10) 、 (25 ± 12) 、 (44 ± 16) 和 $(13 \sim 89) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 以上学者通过比较不同悬浮物浓度的光谱曲线表明: 在 690 ~ 900 nm 波段,水体反射率随悬浮物含量的增加而单调增加,适合用来监测悬浮物. 但对于较清洁的水体,反射率在该位置的变化并不明显,因而限制其方法的进一步应用. 到目前为止,Landsat 卫星数据是应用最多的遥感数据,它所提供的高空间分辨率影像可以很好地满足内陆水体的遥感探测要求,尤其是于 2013 年 2 月发射的 Landsat 8 卫星因其波段更多,波段划分更加精细,每个像元行的像元数目更多等特点很好地继承了 Landsat 系列数据的延续性.

新安江水库又名千岛湖,因水质清澈闻名于世,有学者研究表明,新安江水库全湖平均水质可达 I 类水质标准^[24]. 随着人口压力增加、社会经济发展及资源的开发利用,我国水库水质环境面临着日益严峻的挑战,作为水质较好的一些水库未来将更多地成为饮用水源地. 新安江水库作为钱塘江的重要

水源,对保障钱塘江中下游的水域生态安全及未来长三角饮用水供水安全起着极其重要的作用,因此迫切 need 加强新安江水库水质监测和评价研究. 本文以新安江水库为研究区域,结合水质采样数据和 Landsat 8 遥感影像数据,构建新安江水库 TSM 浓度遥感估算模型,分析新安江水库 TSM 的空间变化及影响因素.

1 数据采集与处理

1.1 研究区及野外采样

新安江水库位于中国浙江省杭州市西南部的淳安县和建德市境内,流域面积达 10 442 km²,常年水位在 108 m 左右,主要包括浙江省的淳安县及安徽黄山地区的歙县、休宁县等,入库河流 30 余条,在设计水位 108 m 时水面面积为 573 km²,蓄水库容 178.4 × 10⁸ m³. 库区纵长 150 km,最宽处 10 km,最大水深 100 m,平均水深 30.44 m,岸线长度 1 406 km,有 1 078 个岛屿. 新安江水库属亚热带湿润季风气候,多年平均气温 17.8℃,平均降水量 1 489.0 mm,平均蒸发量 1 355.1 mm,多年入库净流量 94.1 × 10⁸ m³,出库水量 91.07 × 10⁸ m³,水体交换周期长达 2 a,街口断面以上集雨面积 6 000 km²,入库流量约占总流量的 60%^[25].

于 2013 年 11 ~ 12 月 Landsat 8 卫星过境时进行了 2 次野外同步实验. 其中 11 月 12 日布设了 8 个站点,11 月 29 日至 12 月 1 日全湖采集 60 个水样(图 1). 采样时记录每个样点的经纬度、风速、风向等信息. 将水样低温冷藏,并当天送到实验室.

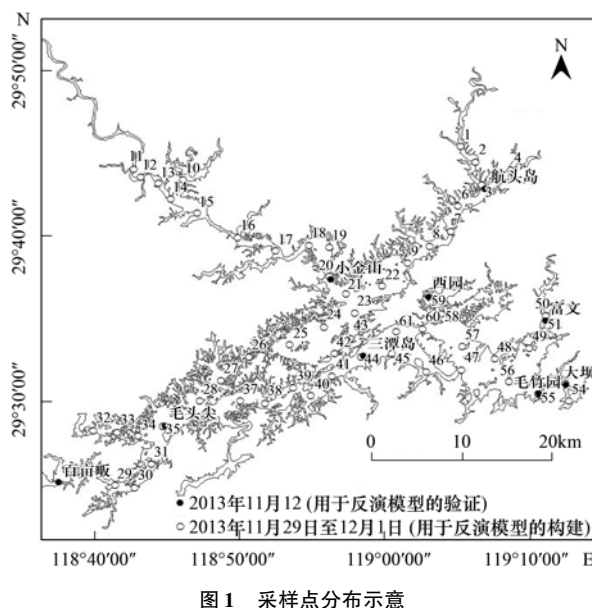


图 1 采样点分布示意

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Xin'anjiang Reservoir

总悬浮物浓度采用常规的干燥、烘烧、称重法(GB 11901-89 标准)测定,将 Whatman GFF 滤膜在 105℃ 温度下烘干称重,然后过滤一定体积的水样在 105℃ 温度下重新烘干称重,进而计算得到总悬浮物浓度^[26]。

1.2 遥感影像数据

考虑到新安江水库湖口狭窄的特点,中低分辨率遥感影像的像元尺度比新安江水库某些湖口的宽度还大,这就导致了大量混合像元的出现,从而造成反演精度的降低,因此需要基于较高空间分辨率的遥感影像来构建适合清洁内陆水体的 TSM 遥感估算模型。Landsat 8 是太阳同步轨道卫星,轨道高度为 705 km,轨道倾角是 98.2°,每 98.9 min 绕地球一圈,其时间和空间分辨率与 Landsat 5/Landsat 7 一致。与 Landsat 5/Landsat 7 相比,Landsat 8 涵盖的波段更多、波段划分更加精细,每景卫星数据的下行速率也由原来的 150 Mbps 提高到 441 Mbps,数据总量是以往的 3 倍。本研究选择与野外采样时间准同步的两景 Landsat 8 数据分别用于模型的构建和验

证,其中与 2013 年 11 月 12 日对应的准同步卫星过境时间为 2013 年 11 月 15 日,与 2013 年 11 月 29 日至 12 月 1 日对应的准同步卫星过境时间为 2013 年 12 月 1 日,2013 年 11 月 29 日至 12 月 1 日的 60 个样点用于模型的构建,2013 年 11 月 12 日的 8 个样点用于模型的验证,由于新安江水库水体总悬浮物浓度随时间变化并不是很大,本研究采用的卫星过境时间和采样时间差以及两次采样时间差是可以接受的。对获取的影像进行辐射定标和大气校正计算,辐射定标的目的是将遥感影像的 DN (digital number)值转换为辐亮度;大气校正就是为了消除大气吸收和散射的影响,本研究采用 6S 模型^[27]对影像进行大气校正,将辐亮度转换为地物表面的遥感反射率^[28]。6S 模型是目前世界上发展较为完善的大气校正方法之一,非常适合可见光-近红外波段的数据,很多研究表明该模型的校正结果比其他模型的高,且计算时间快^[29],表 1 给出了利用 6S 模型对 2013 年 12 月 1 日 Landsat 8 影像的第二、三和八波段进行大气校正的参数设置。

表 1 利用 6S 模型对 2013 年 12 月 1 日 Landsat 8 影像的第二、三和八波段进行大气校正步骤
Table 1 Example 6S input parameters from the band 2, band 3 and band 8 of Landsat 8 scene on December 1st, 2013

步骤	6S 模型参数名称	6S 模型参数值
几何参数设置	Sensor	7 (Landsat TM)
	Month, day, decimal hour	12, 01, 2.656 4
	Longitude, latitude	118.436, 30.296
气溶胶类型设置	Atmospheric profile	1 Tropical
	Aerosol model	1 Continental
	Optical depth at 550 nm	0.1
目标和传感器高度设置	Target elevation(- km a. s. l.)	-0.108
	Satellite level(- km a. s. l.)	-705
波段设置	Band number	25 (band 2), 26 (band 3), 27 (band 8)
地面反射情况	Ground reflectance type	0 Homogeneous surface
	Directional effects?	0 No directional effects
	Specify surface reflectance	1 (Mean spectral value)
信号设置	Atmospheric correction mode	0 Lambertian
	Reflectance or radiance	-0.3 Reflectance

1.3 统计分析

运用 SPSS 17.0 进行数据统计分析,包括计算平均值、最大值、最小值、绝对值、标准差、方差分析、线性等,显著性水平用显著($P < 0.05$)和不显著($P > 0.05$)表示。模型系数确定采用最小二乘法非线性拟合得到,在 Matlab 软件中完成。引入决定系数、平均绝对百分比误差(mean absolute percentage error, MAPE)、均方根误差(root mean square error, RMSE)和相对误差(relative error, RE)、误差的绝对值

(absolute error, abs)、误差绝对值的最大值[MAX (abs)]和误差绝对值的最小值[MIN (abs)]作为统计量来检验反演值和实测值是否一致的评判标准。MAPE、RMSE 和 RE 的计算式如下:

$$MAPE = \frac{|x_{Est,i} - x_{Obs,i}|}{n} \times 100\% \tag{1}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{Est,i} - x_{Obs,i})^2}{n}} \tag{2}$$

$$RE = \frac{(x_{Est,i} - x_{Obs,i})}{x_{Obs,i}} \times 100\% \quad (3)$$

式中, $x_{Est,i}$ 和 $x_{Obs,i}$ 分别为第 i 波长处模拟值和实测值, n 是样本数。

2 结果与分析

2.1 敏感波段分析

通过对多光谱变量与总悬浮物浓度进行相关分

析, 可以发现, 对总悬浮物浓度信息敏感的波段是绿光波段(第 3 波段, 波段范围: 530 ~ 590 nm), 其次是全色波段(第 8 波段, 波段范围: 500 ~ 680 nm) 和蓝光波段(第 2 波段, 波段范围: 450 ~ 510 nm), 线性相关的决定系数分别是 0.51、0.42 和 0.37。图 2 给出了基于 Landsat 8 第二、三和八波段的单波段模型以及回归分析数据, 从中可以看出, 单波段模型很难用于较清洁新安江水库水体 TSM 浓度的遥感估算。

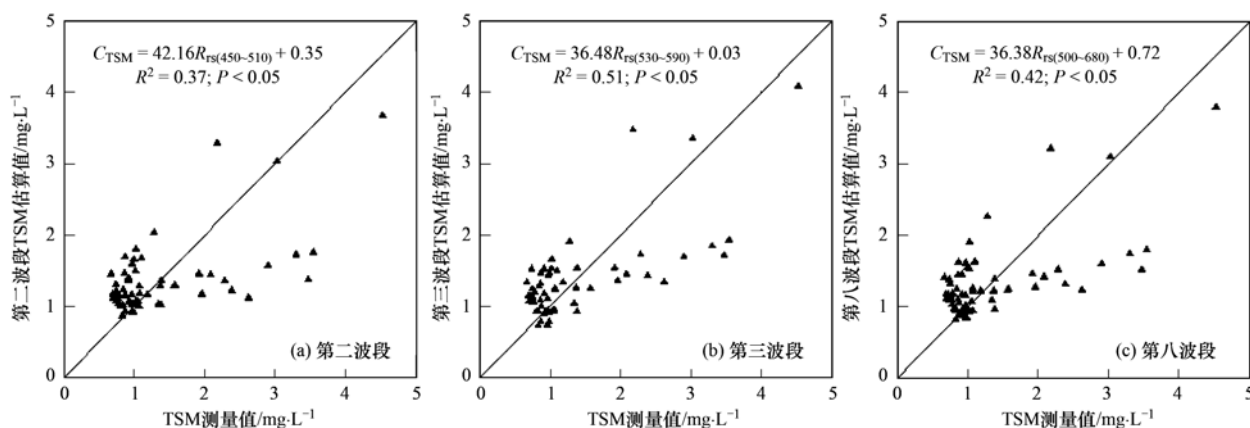


图 2 TSM 估算值和实测值进行回归分析

Fig. 2 Regression analysis between the estimated and measured total suspended matter concentrations (C_{TSM})

2.2 模型的构建与验证

为了寻求总悬浮颗粒物浓度信息最敏感的遥感数据多波段变量因子, 通过 3 种形式: Band(a)/Band(b)、 $a \cdot \text{Band}(a) + b \cdot \text{Band}(b)$ 和 $a \cdot \text{Band}(a) + b \cdot \text{Band}(b) + c \cdot \text{Band}(c)$ 对 Landsat 8 的 OLI 传感器的 9 个波段进行组合运算, 组合种类分别为 72、36 和 336 种, 将这些组合作为总悬浮颗粒物浓度的估算因子, 并且分析这些因子与总悬浮颗粒物浓度之间的相关性。选择与总悬浮颗粒物浓度相关性好的估算因子进行回归分析并建立回归方程, 这些估算因子中相关系数最大的 3 种组合形式分别

为: Band 3/Band 2、 $a \cdot \text{Band } 2 + b \cdot \text{Band } 8$ 和 $a \cdot \text{Band } 2 + b \cdot \text{Band } 3 + c \cdot \text{Band } 8$ 。图 3 给出了基于以上 3 种估算因子构建的多波段模型以及回归分析数据, 结果表明, 这 3 种模型的决定系数分别为 0.73、0.90 和 0.92。

图 4 给出了对单波段模型和多波段模型进行验证过程的回归分析数据, 从中可以看出, 利用验证样本对单波段(Band 3)模型验证时预测值和实测值的均方根误差 RMSE 为 $0.66 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均绝对百分比 MAPE 为 62.30%, 平均相对误差 RE 为 50.64%, 误差绝对值的最大值 MAX(abs) 和最小值

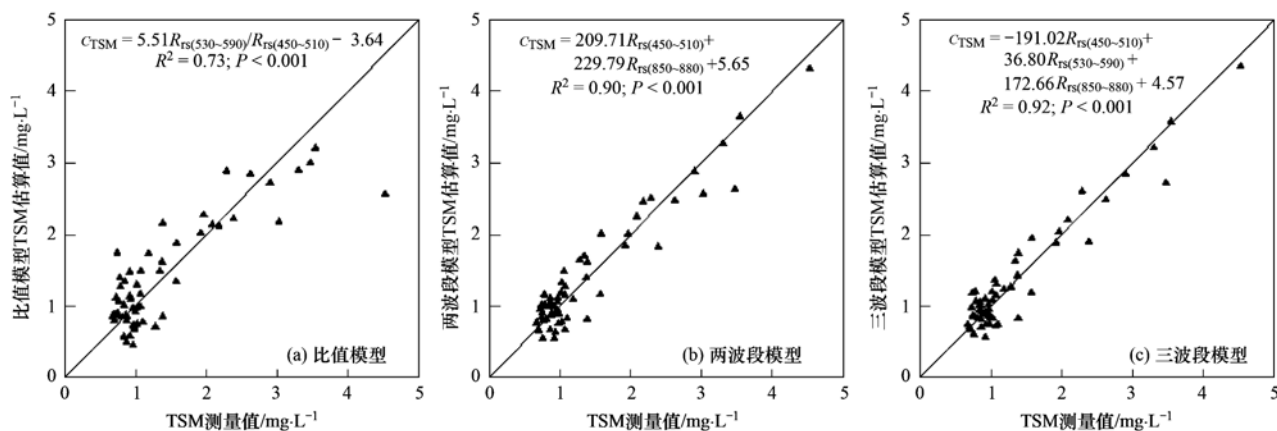


图 3 TSM 估算值和实测值的回归分析

Fig. 3 Regression analysis between the estimated C_{TSM} and the measured C_{TSM}

MIN(abs)分别为 1.04 mg·L⁻¹和 0.32 mg·L⁻¹; 利用验证样本对波段比值(Band 3/Band 2)模型验证时预测值和实测值的 RMSE 为 0.19 mg·L⁻¹, MAPE 为 16.43%, RE 为 12.80%, MAX(abs)和 MIN(abs)分别为 0.38 mg·L⁻¹和 0.03 mg·L⁻¹; 利用验证样本对 a*Band 2 + b*Band 8 模型验证时预测值和实测值的 RMSE 为 0.20 mg·L⁻¹, MAPE 为 19.84%, RE 为 15.40%, MAX(abs)和 MIN(abs)分别为 0.29 mg·L⁻¹和 0.09 mg·L⁻¹; 利用验证样本对 a*Band 2 + b*Band 3 + c*Band 8 模型进行验证的

RMSE 为 0.16 mg·L⁻¹, MAPE 为 14.79%, RE 为 11.49%, MAX(abs)和 MIN(abs)分别为 0.22 mg·L⁻¹和 0.07 mg·L⁻¹. 综合考虑模型的稳定性和实用性,选择最优的波段组合模型作为新安江水库的估算模型,构建的模型如下:

$$C_{TSM} = -191.02R_{rs(450 \sim 510)} + 36.80R_{rs(530 \sim 590)} + 172.66R_{rs(500 \sim 680)} + 4.57 \tag{4}$$

表 2 给出了三波段模型的每个验证点实验值和估算值的相对误差百分比情况,其中所有样点的精度均高于 80%, 38% 样点的精度高于 90%.

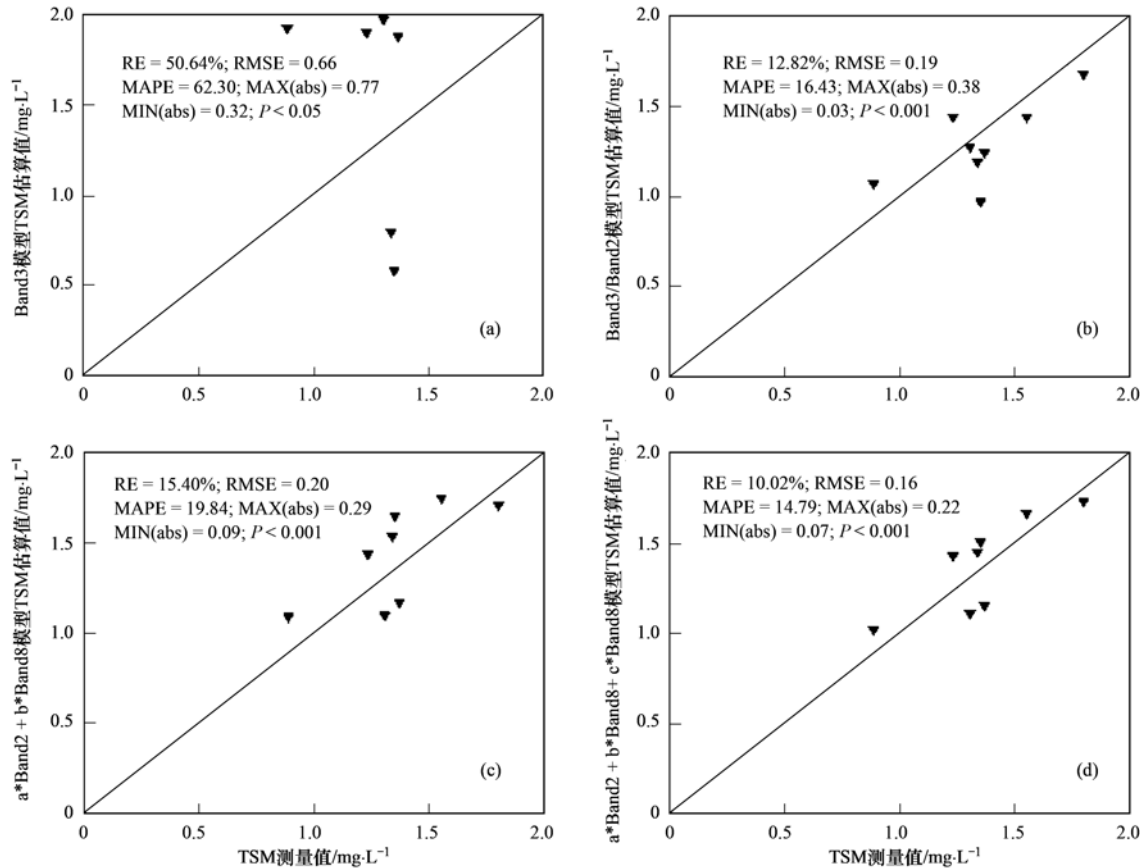


图 4 悬浮物浓度测量值与模型估算值对比

Fig. 4 Comparison between the estimated C_{TSM} and the measured C_{TSM}

表 2 估算数据和采样数据的比较¹⁾

Table 2 Comparison between the processed result and the measured data

卫星过境时间	采样时间	站点名	C_{TSM} 估算值	C_{TSM} 测量值	相对误差/%
2013-11-15	2013-11-12	三潭岛	1.51	1.35	11.21
2013-11-15	2013-11-12	毛竹园	1.34	1.45	8.00
2013-11-15	2013-11-12	大坝	0.89	1.02	14.75
2013-11-15	2013-11-12	富文	1.37	1.15	15.98
2013-11-15	2013-11-12	西园	1.55	1.66	7.03
2013-11-15	2013-11-12	毛头尖	1.23	1.43	15.67
2013-11-15	2013-11-12	航头岛	1.80	1.73	4.03
2013-11-15	2013-11-12	小金山	1.31	1.12	15.27

1) C_{TSM} 测量值是 2013 年 11 月 12 日的采样数据的室内测量值, C_{TSM} 估算值是与此次采样时间最近的过境卫星(过境时间为 2013-11-15)的影像通过本研究构建的三波段模型[式(4)]估算得到的 TSM 浓度, 相对误差通过表达式: $|C_{TSM} \text{ 估算值} - C_{TSM} \text{ 测量值}| \times 100 / C_{TSM} \text{ 测量值}$ 计算得到

3 讨论

很多学者利用经验的方法构建了遥感估算的单波段模型, Baban 等^[30]通过分析发现 Landsat TM 影像的第一波段(450 ~ 520 nm)对该研究区域悬浮物浓度最为敏感,并构建了遥感影像的灰度值与悬浮物浓度的线性关系;许珺等^[31]运用 SPOT 数据对河流水体悬浮固体、浓度进行研究,发现 SPOT 数据的第 1 波段(500 ~ 590 nm)对水体中的悬浮固体比较敏感,并根据影像灰度值与悬浮物之间的相关关系对台湾淡水河的悬浮固体浓度进行了分级评价;Baban^[32]和 Eleveld 等^[33]利用 SeaWiFS 的第五波段(545 ~ 565 nm)对研究区悬浮物浓度进行了研究;Miller 等^[5]构建了 MODIS-Terra 的第一波段(620 ~ 670 nm)遥感反射率和实测 TSM 浓度的线性关系,发现该模型在估算研究区不同 TSM 浓度时具有较好的稳定性. 基于以上学者的研究,选择与以上波段范围相符的 Landsat 8 第二、三和八波段来构建单波段模型,利用这些模型对新安江水库 TSM 浓度进行估算发现,这些模型的估算值和测量值之间的平均相对误差较大,分别为 36.67%、34.11% 和 36.01%,主要因为以上学者的研究都是针对浑浊二类水体,并不适合新安江水库的清洁内陆水体.

Woodruff 等^[34]、Zhang 等^[35]和 Duan 等^[36]的研究表明,波段的组合运算和水质参数具有很好的相关性,为了寻求总悬浮物浓度信息最敏感的遥感数据多波段变量因子,对不同波段进行组合运算,通过比较,波段组合模型的估算精度较单波段模型有明显提高. Williams^[37]研究认为模型的好坏可以用决定系数来评价,评价标准为: $R^2 \geq 0.91$ 为精准; $0.82 \leq R^2 \leq 0.9$ 为较好; $0.66 \leq R^2 \leq 0.81$ 为一般; $0.50 \leq R^2 \leq 0.65$ 为较差. 由三波段模型[式(4)]的决定系数可知,该模型对本研究区域 TSM 浓度估算效果是精确的. 同时,为了进一步评估本研究的模型,选择 Miller 模型^[20]、Doxaran 1 和 Doxaran 2 模型^[38]、Han 模型^[39]、Tassan 模型^[40]以及 Dekker^[23]模型估算新安江水库 TSM 浓度. 研究发现,这些模型的估算值和测量值之间的平均相对误差分别是 90%、107%、125%、70%、62% 和 114%,模型的精度低,不能满足新安江水库中 TSM 估算精度的要求,因此,需要一个改进的模型对该地区 TSM 浓度进行估算. 本研究选用 Landsat 8 的第二(450 ~ 510 nm)、三(530 ~ 590 nm)和第八(500 ~ 680 nm)波段数据来构建总悬浮物浓度的估算模型,通过这种线

性回归的方法构建的模型在某种程度上降低了大气校正误差带来的影响^[29]. 利用验证样本对该模型进行验证,结果表明该模型精度较高,因此可以认为,利用上述 3 个波段构建的模型对新安江水库总悬浮物浓度信息的估算是可行的. 由于是经验模型,其内在机制并不清楚,并且受到样本数量的限制,本文所构建的三波段模型对于更大变化范围的 TSM 浓度估算是否仍然有效还需要更深入的研究.

图 5 基于三波段模型给出了新安江水库水体 TSM 浓度的时空分布,统计发现,该地区水体 TSM 平均浓度为 $2.19 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最低浓度为 $0.04 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最高浓度为 $24.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 这些高浓度部分位于湖的边缘区即与陆地交接处以及一些湖湾枝杈(最高处的像元数极少,所占百分比小于 0.005%), 95% 以上区域的水体悬浮物浓度在 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下, 70% 水域悬浮物浓度在 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下, 20% 的湖区悬浮物浓度分布在 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右. 从图 5 中可以看出新安江水库 TSM 浓度整体较低,入湖区的悬浮物浓度明显高于其它地区,主要是由于街口一带污染较重,加之上游枝杈流域降水带来的悬浮物浓度较高,进入到水库后还没有完全沉降. 而对于大墅镇、姜家镇、枫树岭镇、龙源乡和安阳乡这些区域除了受入湖河流的影响外主要还受河流采砂的影响^[41],采砂活动对生态环境的影响巨大,一方面采砂活动容易引起沉积泥沙的再悬浮,另一方面采砂后的洗砂明显增加水体中悬浮物浓度,降低水体透明度,减弱水下光环境以及一系列的生态影响^[42],采砂活动也扰动了泥沙中的有毒物质(如硫、氨等)、污染物等,对周围水体生物的生长造成很大的危害. 根据 2009 年县公共资源交易中心对淳安县千岛湖湖区部分水域采砂权拍卖公告^[41]可知: 薛家源码头以上枫树岭水域,限定开采量为 3 万 t; 毛家码头以上汾口水域,限定开采量为 10 万 t; 东方大桥以上威坪水域,限定开采量为 4 万 t; 游畈岛以上至田浦以下安阳水域,限定开采量为 4 万 t; 田浦以上大墅水域,限定开采量为 4 万 t; 溪口大桥以上临岐水域,限定开采量为 4 万 t. 在图 5 中表现为: 汾口水域 TSM 浓度最大,平均 TSM 浓度大于 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 其次是同时受薛家源、游畈岛和田浦这 3 个采砂场影响的安阳水域和大墅水域,平均 TSM 浓度为 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 最后是东方大桥以上威坪水域和溪口大桥以上临岐水域,其平均 TSM 浓度在 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右. 由此可见,利用遥感技术可分析采砂对新安江水库水体透明度影响的范围和程度,可为后续的研究和湖泊

- [19] 马荣华, 戴锦芳. 结合 Landsat ETM 与实测光谱估测太湖叶绿素及悬浮物含量[J]. 湖泊科学, 2005, **17**(2): 97-103.
- [20] 邬明权, 韩松, 赵永清, 等. 应用 Landsat TM 影像估算渤海叶绿素 a 和总悬浮物浓度[J]. 遥感信息, 2012, **27**(4): 91-95.
- [21] 温小乐, 徐涵秋. 基于多源同步数据的闽江下游悬浮物定量遥感[J]. 环境科学, 2008, **29**(9): 2441-2447.
- [22] 管义国, 王心源, 吉文帅. 巢湖水体悬浮物的遥感分析[J]. 遥感信息, 2007, (5): 39-43.
- [23] Dekker A G, Vos R J, Peters S W M. Comparison of remote sensing data, model results and in situ data for total suspended matter(TSM) in the southern Frisian lakes [J]. Science of the Total Environment, 2001, **268**(1-3): 197-214.
- [24] 韩伟明, 胡水景, 金卫, 等. 千岛湖水环境质量调查与保护对策[J]. 湖泊科学, 1996, **8**(4): 337-344.
- [25] 韩晓霞, 朱广伟, 吴志旭, 等. 新安江水库(千岛湖)水质时空变化特征及保护策略[J]. 湖泊科学, 2013, **25**(6): 836-845.
- [26] Zhang Y L, Shi K, Liu X H, *et al.* Lake topography and wind waves determining seasonal-spatial dynamics of total suspended matter in turbid lake Taihu, China: assessment using long-term high-resolution MERIS Data [J]. PloS One, 2014, **9**(5): e98055.
- [27] Vermote E F, Tanré D, Deuze J L, *et al.* Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1997, **35**(3): 675-686.
- [28] Burns P, Nolin A. Using atmospherically-corrected Landsat imagery to measure glacier area change in the Cordillera Blanca, Peru from 1987 to 2010 [J]. Remote Sensing of Environment, 2014, **140**(1): 165-178.
- [29] Zhao W J, Tamura M, Takahashi H. Atmospheric and spectral corrections for estimating surface albedo from satellite data using 6S code [J]. Remote Sensing of Environment, 2001, **76**(2): 202-212.
- [30] Baban S M J. Detecting water quality parameters in the Norfolk Broads, U. K., using Landsat imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, **14**(7): 1247-1267.
- [31] 许珺, 方红亮, 傅肃性, 等. 运用 SPOT 数据进行河流水体悬浮固体浓度的研究——以台湾淡水河为例[J]. 遥感技术与应用, 1999, **14**(4): 17-22.
- [32] Baban S M J. The use of Landsat imagery to map fluvial sediment discharge into coastal waters [J]. Marine Geology, 1995, **123**(3-4): 263-270.
- [33] Eleveld M A, Pasterkamp R, van der Woerd H J, *et al.* Remotely sensed seasonality in the spatial distribution of sea-surface suspended particulate matter in the southern North Sea [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, **80**(1): 103-113.
- [34] Woodruff D L, Stumpf R P, Scope J A, *et al.* Remote estimation of water clarity in optically complex estuarine waters [J]. Remote Sensing of Environment, 1999, **68**(1): 41-52.
- [35] Zhang Y Z, Pulliainen J, Koponen S, *et al.* Application of an empirical neural network to surface water quality estimation in the Gulf of Finland using combined optical data and microwave data [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, **81**(2-3): 327-336.
- [36] Duan H T, Ma R H, Zhang Y Z, *et al.* Remote-sensing assessment of regional inland lake water clarity in northeast China [J]. Limnology, 2009, **10**(2): 135-141.
- [37] Williams P C. Implementation of near-infrared technology [A]. In: Williams P, Norris K (Eds.). Near-infrared technology in the agricultural and food industries [M]. 2nd ed. USA: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2001.
- [38] Doxaran D, Froidefond J M, Lavender S, *et al.* Spectral signature of highly turbid waters: Application with SPOT data to quantify suspended particulate matter concentrations [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, **81**(1): 149-161.
- [39] Han Z, Jin Y Q, Yun C X. Suspended sediment concentrations in the Yangtze River estuary retrieved from the CMODIS data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, **27**(19): 4329-4336.
- [40] Tassan S. An improved in-water algorithm for the determination of chlorophyll and suspended sediment concentration from Thematic Mapper data in coastal waters [J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, **14**(6): 1221-1229.
- [41] 淳安县公共资源交易中心. 淳安县千岛湖湖区薛家源码头以上枫树岭等水域采砂权拍卖公告[EB/OL]. <http://www.cajyzx.org.cn>, 2009-08-24.
- [42] 邬国锋, 崔丽娟. 基于遥感技术的鄱阳湖采砂对水体透明度的影响[J]. 生态学报, 2008, **28**(12): 6113-6120.

CONTENTS

Ozone Source Apportionment at Urban Area during a Typical Photochemical Pollution Episode in the Summer of 2013 in the Yangtze River Delta	LI Hao, LI Li, HUANG Cheng, <i>et al.</i>	(1)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen	XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, <i>et al.</i>	(11)
Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO ₂ over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years	FU Chuan-bo, CHEN You-long, DAN Li, <i>et al.</i>	(18)
Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning	HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, <i>et al.</i>	(25)
Gas Chromatography with a Pulsed Discharge Helium Ionization Detector for Measurement of Molecular Hydrogen(H ₂) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i>	(34)
Partial Pressure of CO ₂ and CO ₂ Degassing Fluxes of Huayankou and Xiaolangdi Station Affected by Xiaolangdi Reservoir	ZHANG Yong-ling, YANG Xiao-lin, ZHANG Dong	(40)
Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer	LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng	(49)
Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data	ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(56)
Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenruiang River Watershed	MA Xiao-xue, WANG La-chun, LIAO Ling-ling	(64)
Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin	YU Shi, SUN Ping-an, DU Wen-yue, <i>et al.</i>	(72)
Annual Variation of Different Phosphorus Forms and Response of Algae Growth in Meiliang Bay of Taihu Lake	WANG Ming, WU Xiao-fei, LI Da-peng, <i>et al.</i>	(80)
Distribution of Transferable Nitrogen in Poyang Lake Sediments and Its Response to the Variation of River-Lake Relationship	SHEN Hong-yan, ZHANG Mian-mian, NI Zhao-kui, <i>et al.</i>	(87)
Effect of Environmental Factors on Macroinvertebrate Community Structure in the Huntai River Basin in the Huntai River Basin	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue	(94)
Effects of Outbreak and Extinction of Algal Blooms on the Microbial Community Structure in Sediments of Chaohu Lake	DIAO Xiao-jun, LI Yi-wei, WANG Shu-guang	(107)
Impacts of Algal Blooms Accumulation on Physiological Ecology of Water Hyacinth	WU Ting-ting, LIU Guo-feng, HAN Shi-qun, <i>et al.</i>	(114)
Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir	CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, <i>et al.</i>	(121)
Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(130)
Temporal and Spatial Variation of Mercury in Water of Agro-forestry and Livestock Compound Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZHAO Zheng, WANG Ya, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(136)
Effect of External Condition on the Static Migration and Release of Dibutyl-phthalate in the Soil of the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir to the Overlying Water	SONG Jiao-yan, MU Zhi-jian, WANG Qiang, <i>et al.</i>	(143)
Ultraviolet-Visible(UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter(DOM) in Soils of Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Region	GAO Jie, JIANG Tao, LI Lu-lu, <i>et al.</i>	(151)
Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter(CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy(EEMs) and Parallel Factor Analysis(PARAFAC)	ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo, BAI Ying, <i>et al.</i>	(163)
Pollution Characteristics and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Groundwater at Xiaodian Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LI Jia-le, ZHANG Cai-xiang, WANG Yan-xin, <i>et al.</i>	(172)
Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen	CHENG Qi-ming, HUANG Qing, LIAO Zhen-ni, <i>et al.</i>	(179)
Comparative Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment of Groundwater Pollution: A Case Study in Beijing Plain	WANG Hong-na, HE Jiang-tao, MA Wen-jie, <i>et al.</i>	(186)
Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China	ZHANG Jia-quan, LI Xiu, ZHANG Quan-fa, <i>et al.</i>	(194)
Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake	CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, <i>et al.</i>	(202)
Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide	CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, <i>et al.</i>	(209)
Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon	WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, <i>et al.</i>	(215)
Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, <i>et al.</i>	(221)
Forming Mechanism of Humic Acid-Kaolin Complexes and the Adsorption of Trichloroethylene	ZHU Xiao-jing, HE Jiang-tao, SU Si-hui	(227)
Impact on the Microbial Community of Municipal Sewage in the ANAMMOX System During the Cooling Process	ZHAO Zhi-rui, MIAO Zhi-jia, LI Duo, <i>et al.</i>	(237)
Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study	CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i>	(244)
Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of <i>Pseudomonas putida</i>	DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i>	(252)
Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions	ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, <i>et al.</i>	(259)
Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China	ZHANG Ze-zhou, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i>	(266)
Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province	ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, <i>et al.</i>	(274)
Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, <i>et al.</i>	(280)
Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.)	XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	(286)
Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen	HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, <i>et al.</i>	(295)
Spatial Distribution of Se in Soils from Different Land Use Types and Its Influencing Factors Within the Yanghe Watershed, China	SHANG Jing-min, LUO Wei, WU Guang-hong, <i>et al.</i>	(301)
Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil	WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, <i>et al.</i>	(309)
Form Tendency and Bio-availability Dynamics of Cu and Zn in Different Farm Soils After Application of Organic Fertilizer of Livestock and Poultry Manures	SHANG He-ping, LI Yang, ZHANG Tao, <i>et al.</i>	(314)
Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China	ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, <i>et al.</i>	(325)
Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation	LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, <i>et al.</i>	(333)
Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor	XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, <i>et al.</i>	(338)
A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide	LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, <i>et al.</i>	(343)
Analysis of Sap Flow Characteristics of the Chinese Pine in Typical Loess Plateau Region of China	ZHANG Han-dan, WEI Wei, CHEN Li-ding, <i>et al.</i>	(349)
Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from <i>Macrocystis pyrifera</i>	ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, <i>et al.</i>	(357)
Behaviors of Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments and Impacts on Marine Phytoplankton	LI Man-lu, JIANG Yue-lu	(365)

《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)

2015年1月15日 第36卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 1 Jan. 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