

The Dynamic Monitoring of Erhai Cyanobacteria Based on Landsat Data

Linglu Li¹, Jiaxuan Li², Gong Cheng^{2*}

¹Kunming Environmental Supervision Center, Kunming Yunnan

²Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring, School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Ministry of Education, Changsha Hunan

Email: leedallblue@163.com, 1049484811@qq.com, *chenggongx@126.com

Received: Mar. 28th, 2016; accepted: Apr. 15th, 2016; published: Apr. 27th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In recent years, algal bloom occurring in Erhai frequently attracts wide attention. The chlorophyll-a concentration, which can effectively reflect the status of phytoplankton biomass and its change trend, is an important parameter for evaluating primary productivity of the water. Using the Landsat TM/ETM+ remote sensing images when cyanobacteria bloom erupted (from May to November in 2009), after pre-processing like radiometric calibration, atmospheric correction and destriping on the images, the chlorophyll-a concentration was quantitatively inversed by the band combination of $41.57 \cdot (TM3 + TM4) - 0.697$. The results showed that chlorophyll-a concentration in Erhai Lake increased gradually and reached the highest value in October, then decreased in November. Chlorophyll-a concentrations in each phase inversion result are consistent with the actual results of sampling and analysis that demonstrates the effectiveness of the use of Landsat TM/ETM+ data on dynamic monitoring chlorophyll-a concentration of Erhai Lake. This method is worthy of further promotion with short period, rich information, high actuality and low cost.

Keywords

Cyanobacteria Bloom, Chlorophyll-a, Dynamic Monitoring, Landsat

基于Landsat数据的洱海蓝藻动态变化监测

李泠潞¹, 李嘉璇², 成功^{2*}

作者简介: 李泠潞(1983-), 湖南郴州人, 环境信息工程师, 主要从事环境地理信息应用研究工作。

*通讯作者。

¹昆明市环境监控中心, 云南 昆明

²中南大学地球科学与信息物理学院, 有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室(中南大学), 湖南 长沙
Email: leedallblue@163.com, 1049484811@qq.com, *chenggongx@126.com

收稿日期: 2016年3月28日; 录用日期: 2016年4月15日; 发布日期: 2016年4月27日

摘要

近年来, 位于云南省境内的洱海湖区蓝藻水华现象频发引起了人们的关注。叶绿素a是水体初级生产力的重要指标, 可以有效反映浮游植物生物量状况及其变化趋势。本文选取了蓝藻水华易爆发期(2009年5月~11月)洱海湖区Landsat TM/ETM+数据, 在对图像进行了辐射定标、大气校正、条带修复等预处理的基础上, 运用 $41.57 \times (TM3 + TM4) - 0.697$ 波段组合模型对其进行叶绿素a浓度反演, 反演结果表明, 洱海湖区叶绿素a含量逐渐升高, 在10月份达到了峰值, 11月开始下降。各时相叶绿素a浓度反演结果与实际采样分析结果基本一致, 验证了利用Landsat TM/ETM+数据进行洱海湖区叶绿素a浓度动态监测的有效性。该方法具有周期短、信息丰富、现势性强、成本低等优势, 值得进一步推广。

关键词

蓝藻水华, 叶绿素a, 动态监测, Landsat

1. 引言

位于云南省大理白族自治州的洱海, 被大理州 350 万人民亲切地称之为“母亲湖”, 它是云南省第二大高原淡水湖, 是著名的“高原明珠”。然而随着社会经济的发展, 人类活动的影响, 洱海水质不断下降, 水体富营养化加剧, 多次暴发大面积的蓝藻水华现象引发了社会的强烈关注[1]。叶绿素 a 是水体初级生产力的重要指标, 可以反映浮游植物生物量状况及其变化趋势, 其浓度被广泛应用于评价水体富营养化和预警水华[2]。因此, 对叶绿素 a 浓度的动态变化监测对于了解湖泊富营养化程度及其变化趋势以及制定有效的治理决策具有重要意义。

传统的对湖泊监测和调查的方法是通过实地考察获取样本提取有关数据, 需要耗费巨大的人力、物力和时间, 对于地形较为复杂地区或面积广阔的湖泊而言, 不能全面其叶绿素分布情况。而遥感技术具有观测宏观、数据更新周期短、速度快、连续、包含的信息量大、可视化程度高、便于动态监测等特点, 并且能够很好地反映环境变化的连续性、空间性和规律性可以在很大程度上解决由于人类对湖泊的考察和定点观测范围的有限性所带来的问题。

国内外许多学者对在运用遥感技术监测对湖泊叶绿素进行监测已经进行了大量的研究工作。谢杰等在基于 TM/ETM+数据上利用已有模型对巢湖提取叶绿素 a 相对浓度信息的基础上获取了叶绿素 a 相对浓度分布图, 有效地反映了 1995~2007 年年巢湖叶绿素 a 各浓度等级在 7~9 月份的空间分布变化情况[3]; 张玉超等确定了一个基于 MODIS 数据的叶绿素 a 指数, 并以此为基础构建出一个具有普适性的、反映太湖叶绿素 a 时空分布动态变化的反演模型[4]。这些研究表明通过遥感技术进行叶绿素 a 浓度动态监测具有一定的可行性。

郑国强等根据 1971 年至 2000 年的洱海水质实地监测数据, 研究洱海水质的演变过程及趋势[5]。杨威等使用 2010 年 5 月至 2011 年 4 月洱海实地采样调查数据, 对洱海叶绿素 a 的季节动态、空间分布及其与环境因子的关系进行研究[6]。目前对洱海的水质监测大多还是使用的传统采样的方法, 效率低且不能全面其叶绿素分布情况。本文选取了多时相的洱海湖区 Landsat TM/ETM+数据, 在通过已有的效果较好的模型进行叶绿素 a 浓度

反演的基础上, 探寻洱海湖区叶绿素 a 浓度动态变化趋势, 并通过实测数据进行对比, 验证通过 Landsat TM/ETM+ 数据进行洱海湖区叶绿素 a 浓度动态监测的有效性。

2. 研究区域与数据

研究选取位于云南大理的洱海作为研究区, 是云南省第二大淡水湖。地理坐标位于 $N25^{\circ}36' \sim 25^{\circ}58'$, $E100^{\circ}06' \sim 100^{\circ}18'$ 之间。总径流面积 2565 km^2 , 湖泊面积约 251 km^2 , 蓄水量 30 亿 m^3 , 平均水深约 11.5 m, 最深为 20 m [4]。选取 2009 年 5~6 和 8~11 月共六景 Landsat TM/ETM+ 遥感数据, 均来源于地理空间数据云 (Geospatial Data Cloud)。

3. 研究方法

3.1. 遥感影像预处理

3.1.1. 辐射定标与大气校正

辐射定标的目的是将传感器记录的电压或数字量化值(DN)转化成绝对辐射亮度值(辐射率)的过程, 或者转换与地表(表现)反射率、表面温度等物理量有关的相对值得处理过程[5]。本文使用 ENVI5.1 中提供的 radiometric calibration 工具进行辐射定标。地物反射辐射在到达传感器前在大气中会经历吸收、散射、投射、反射、折射等物理过程, 使能量衰减, 导致光谱发生变化。大气的衰减作用受多种因素控制, 例如波长、传感器参数、地区差异、时间差异等。为了消除大气的影 响, 需要对遥感影像进行大气校正, 即获得地表辐射率、地表温度、反射率等真实物理参数[7]。本次采用 FLAASH 模型进行大气校正, 它是一种绝对大气校正方法, 适用于精细定量遥感[8]。

3.1.2. 条带修复

2003 年 5 月 31 日(21:42:35 GMT), Landsat-7ETM+ 机载扫描行校正器(Scan Lines Corrector, 简称 SLC)突然发生故障, 导致获取的图像出现数据重叠和大约 25% 的数据丢失, 因此 2003.5.31 日之后 Landsat 7 的所有数据都是异常的, 需要进行条带修复。一般去条带有两种方法: 1) 差值修复: 利用同一景影像完好的数据部分对数据缝隙进行差值; 2) 回归修复: 利用故障前的正常数据对数据缝隙进行填充。本次研究使用了 landsat_gapfill 去条带补丁中单个文件缝隙填充(三角剖分)的功能, 运用三角插值对条带进行填充, 得到了较好的效果。

3.2. 叶绿素 a 信息提取

叶绿素 a 是湖泊水质遥感监测中研究最多的水质参数, 广泛的应用于湖泊中叶绿素 a 的遥感监测研究。半经验方法、经验方法、分析方法是实际应用中使用最多的方法。经验和半经验方法是目前研究中使用较多的方法, 反演效果也比较好, 经验方法比较简单、易用, 可以通过选择适当的波段组合或建立相对复杂的回归方程来提高二类水体的水质参数的反演精度。因此选取由经验方法所得出的模型进行叶绿素 a 浓度的反演具有较高的可靠性和精确性[9]-[11]。

经过大量对比, 在李苗等对克钦湖的叶绿素 a 浓度反演中, 通过对叶绿素光谱特征研究的基础上, 选取了 TM2、TM3、TM4 单波段和多种波段组合与叶绿素 a 浓度进行相关性分析, 最终获得了精度较高的模型 $Y = 41.57 \times (\text{TM3} + \text{TM4}) - 0.697$ 。其中 TM3 对应的波长范围为 620~690 nm, 是叶绿素的主要吸收波段, 可以反应不同植物叶绿素吸收; TM4 对应的波长范围为 760~960 nm, 是绿色植物类别差异的敏感区, 为植物通用波段[12]。利用 ENVI5.1 中 band math 工具根据该模型得到洱海叶绿素 a 分布结果, 总体上效果较好, 满足监测研究的需要。

4. 结果分析

4.1. 叶绿素 a 浓度信息提取结果分析

全湖共设置 12 个采样点, 从北至南共四个断面, 每个断面分为西、中、东 3 个采样点(图 1) [13]。通过模

型反演最终得出各点 5~11 月的叶绿素 a 浓度值，并以其逐月求取算术平均值代表全湖叶绿素 a 浓度水平(图 2)。将其与实际采样结果对比分析可知，该模型在此区域内反演效果较佳，基本与实测数据吻合度高， $E = -0.5152$ ， $D = 1.003$ 。

4.2. 洱海叶绿素 a 浓度的时间变化趋势及分析

由反演出的叶绿素 a 浓度信息图(图 3)可以看出，2009 年 5~11 月洱海全湖叶绿素 a 浓度平均值变化范围为 $0 \mu\text{g/L} \sim 45 \mu\text{g/L}$ ，从遥感图像上可以看出，5 月份全湖水水质较好，湖区南北边缘地区叶绿素 a 浓度相对略高；6~9 月份叶绿素 a 浓度不断上升，全湖受污染面积不断扩大，气温高，蒸发量大的气候条件有利于蓝藻的大量繁殖，因此随着水温的上升，浮游植物的生长加快，叶绿素 a 浓度值也逐渐升高。10 月份时全湖叶绿素 a 浓度普遍偏高，蓝藻水华现象较为严重，洱海近 60% 的水量来自北部，且是洱海的主要污染源[14]，而北部区域农田面积约占流域面积的 58%，高污染的作物种植比例较高，同时洱海秋季(10 月)雨水较多，雨水冲刷农田使得大量氮、磷流入湖中，南部靠近城市，人口密集，大量的污水排放流入南部湖区，导致南、北湖区污染加重。同时湖水在南部地区形成了浓度高值区，这与洱海湖区秋季盛行大风现象有一定关系，水中的营养物质和浮游藻类的扩散迁移受风浪的影响较大，在风的作用下，藻类往往可以上下混合或者随风漂移而在某一区域形成堆积[6]。11 月份开始，叶绿素 a 浓度有所下降，水质得到了改善。总体来说，总体上形成了从五月份开始逐渐增加，在 10 月份达到峰值，11 月份开始下降的变化趋势(图 4)。

在春季，北部与中部叶绿素 a 含量较低，南部稍高(图 3(a))；在夏季，整个湖区叶绿素 a 含量较明显升高，北部和中部超过南部(图 3(c))；在秋季，全湖叶绿素 a 含量均达到最大值，中部略低(图 3(d)、图 3(e))；在冬季，叶绿素 a 含量明显降低(图 3(f))。通过图 3 与图 5 对比后可以看出，遥感反演结果与实测结果基本一致。

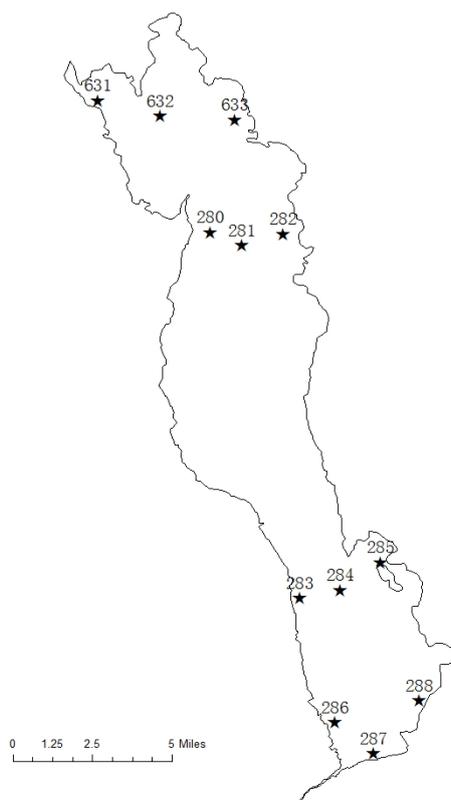


Figure 1. Distribution of sampling sites in Erhai
图 1. 洱海采样点分布

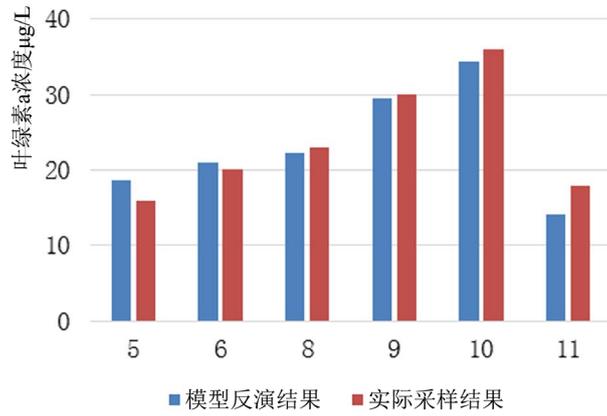


Figure 2. Inversion data comparison with the measured data
图 2. 模型反演数据与实测数据对比

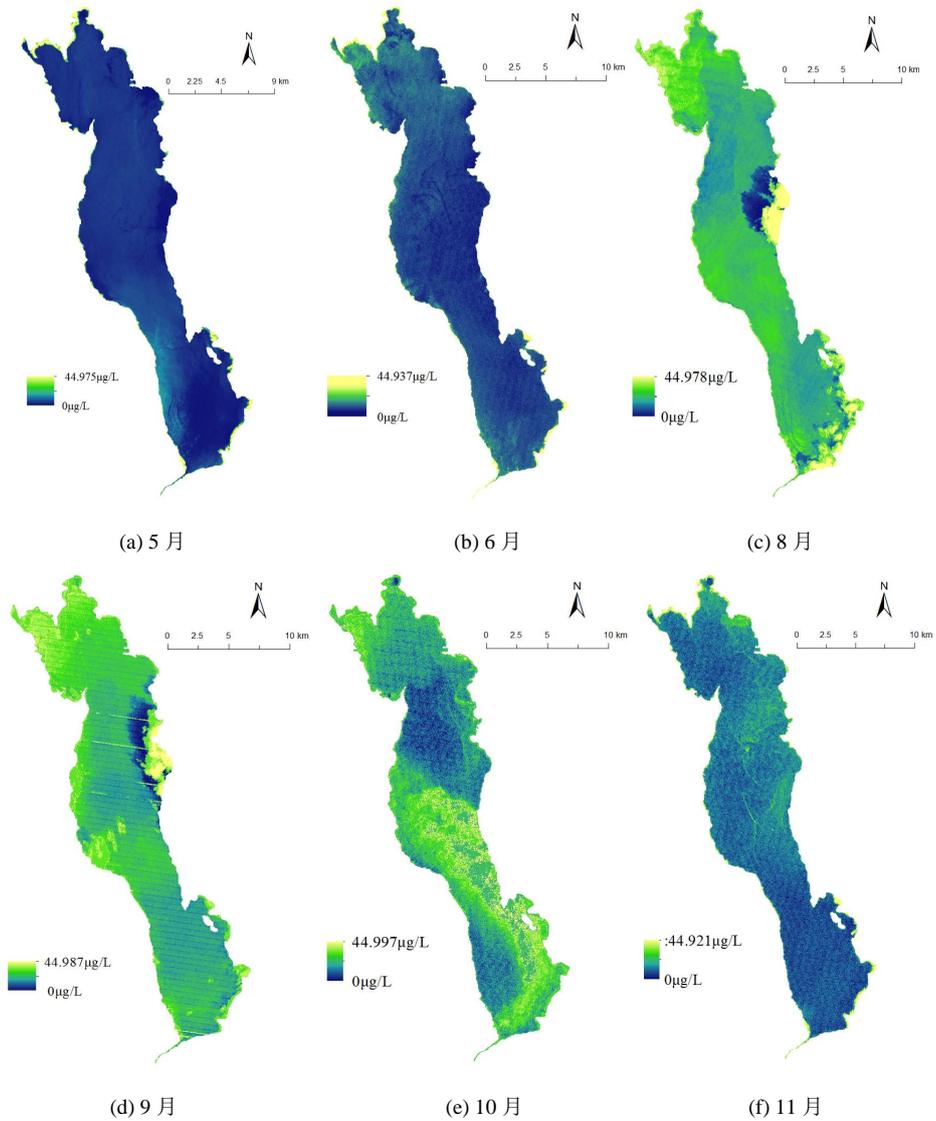


Figure 3. Inversion figure of Chl. a concentration in Erhai
图 3. 洱海叶绿素 a 浓度反演结果图

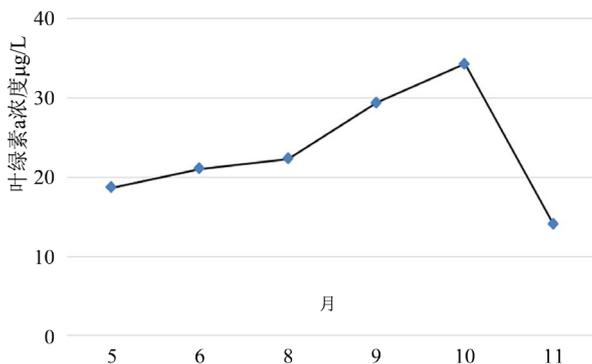


Figure 4. Seasonal variation of Chl. a concentration in Erhai from April to November in 2009
图 4. 2009 年 5~11 月洱海叶绿素 a 浓度变化

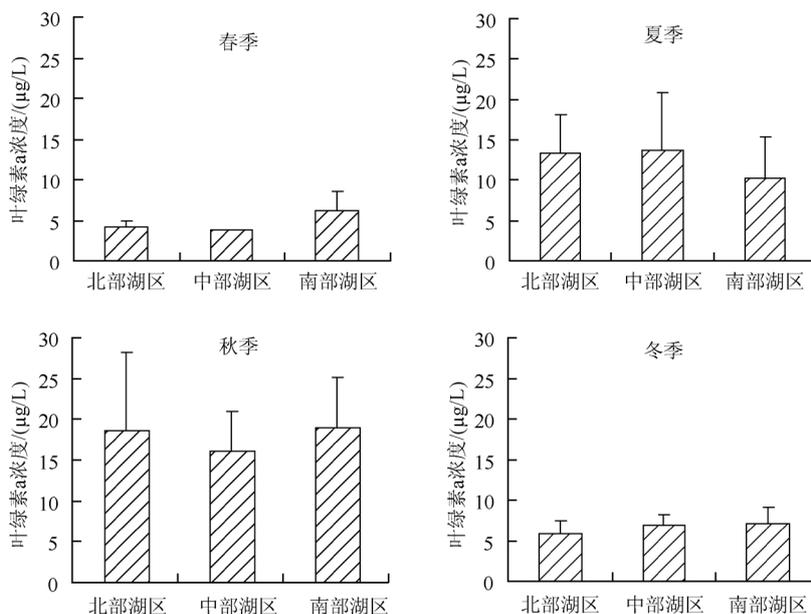


Figure 5. Spatial distribution of Chl. a concentration in Erhai in different seasons [6]
图 5. 不同季节洱海叶绿素 a 浓度的空间分布[6]

5. 结论

1) 通过多时相遥感图像得出不同时期洱海叶绿素 a 浓度分布图可以看出，洱海叶绿素 a 浓度呈现出明显的季节变化，即从春季开始上升，夏季增大，秋季达到峰值，冬季下降的变化规律。

2) 洱海湖区叶绿素 a 浓度的时空变化受到多方面因素的影响，气温、水温、降水、风等因素的共同作用造成了其随时间的动态变化。

3) 基于 Landsat 数据对洱海湖区进行叶绿素 a 浓度的监测基本可以反映出该地区叶绿素 a 浓度值随时间变化的趋势，可以进行有效的动态监测。并且 Landsat 数据具有周期短、信息丰富、现势性强、成本低等优势，为快速进行科学有效的决策提供了依据。

4) 基于卫星遥感技术对湖泊进行监测能够获取大范围、连续的叶绿素 a 浓度分布信息，相比起传统采样方法具有很强的优势，值得进一步探索与发展[15]。

参考文献 (References)

- [1] 李泽坤, 杨萍萍, 苏社飞. 2004-2013 年洱海富营养化变化趋势[J]. 环境科学导刊, 2015, 34(1): 1-3.
LI Zekun, YANG Pingping and SU Shefei. Eutrophication trend of Erhai Lake from 2004 to 2013. Environmental Science Survey, 2015, 34(1): 1-3. (in Chinese)
- [2] 刘忠华. 基于高分数据的太湖重点污染入湖河流叶绿素 a 浓度遥感反演[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2012.
LIU Zhonghua. Remote sensing inversion of chlorophyll a in typical polluted rivers which flow into Taihu Lake based on high spatial resolution data. Nanjing: Nanjing Normal University, 2012. (in Chinese)
- [3] 谢杰, 王心源, 张洁, 等. 基于 TM/ETM+影响分析巢湖叶绿素 a 浓度变化趋势[J]. 中国环境科学, 2010, 30(5): 677-682.
XIE Jie, WANG Xinyuan, ZHANG Jie, et al. Analysing developing trend of chlorophyll-a concentration in Chaohu Lake based on TM/ETM+ image. China Environmental Science, 2010, 30(5): 677-682. (in Chinese)
- [4] 张玉超, 钱新, 石川忠晴, 等. 水质遥感在太湖叶绿素 a 时空分布动态变化研究中的应用[J]. 环境保护科学, 2009, 35(1): 105-108.
ZHANG Yuchao, QIAN Xin, SHI CHUAN Zhongqing, et al. Application of remote sensing on spatial-temporal distribution of chlorophyll-a in Taihu Lake. Environmental Protection Science, 2009, 35(1): 105-108. (in Chinese)
- [5] 郑国强, 于兴修, 江南, 等. 洱海水质的演变过程及趋势[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(1): 99-102.
ZHENG Guoqiang, YU Xingxiu, JIANG Nan, et al. The cause for chang of water quality of Erhai Lake and prediction of water quality. Journal of Northeast Forestry University, 2004, 32(1): 99-102. (in Chinese)
- [6] 杨威, 邓道贵, 张赛, 等. 洱海叶绿素 a 浓度的季节动态和空间分布[J]. 湖泊科学, 2012, 6(6): 858-864.
YANG Wei, DENG Daogui, ZHANG Sai, et al. Seasonal dynamic and spatial distribution of chlorophyll-a concentration in Lake Erhai. Journal of Lake Sciences, 2012, 6(6): 858-864. (in Chinese)
- [7] 杨一鹏, 王桥, 肖青, 等. 基于 TM 数据的太湖叶绿素 a 浓度定量遥感反演方法研究[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(2): 5-8.
YANG Yipeng, WANG Qiao, XIAO Qing, et al. Quantitative remote sensing inversion methods of chlorophyll-a concentration in Taihu Lake based on TM data. Geography and Geo-Information Science, 2006, 22(2): 5-8. (in Chinese)
- [8] 郭明权, 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.
WU Mingquan, HAN Song, ZHAO Yongqing, et al. Quantitative estimation of chlorophyll-a and total suspended matter concentration with Landsat TM. Remote Sensing Information, 2012, 27(4): 91-95. (in Chinese)
- [9] 李云亮, 张运林. 基于 TM 影像的太湖夏季悬浮物和叶绿素 a 浓度反演[J]. 遥感信息, 2008(6): 22-27.
LI Yunliang, ZHANG Yunlin. Quantitative estimation of total suspended matter and chlorophyll_a concentration of Taihu Lake in summer using TM data. Remote Sensing Information, 2008(6): 22-27. (in Chinese)
- [10] KOPONEN, S., PULLIAINEN, J., KALLIO, K., et al. Lake water quality classification with airborne hyperspectral spectrometer and simulated MERIS data. Remote Sensing of Environment, 2002, 79(1): 51-59.
- [11] THIEMANN, S., KAUFMANN, H. and TANIS, F. J. Determination of chlorophyll content and trophic state of lakes using field spectrometer and IRS-1C satellite data in the Mecklenburg Lake district, Germany. Remote Sensing of Environment, 2000, 73(2): 227-235(9).
- [12] 疏小舟, 尹球. 内陆水体藻类叶绿素浓度与反射光谱特征的关系[J]. 遥感学报, 2000, 4(1): 41-45.
SHU Xiaozhou, YIN Qiu. Relationship between algal chlorophyll concentration and spectral reflectance of inland water. Journal of Remote Sensing, 2000, 4(1): 41-45. (in Chinese)
- [13] 李苗, 臧淑英, 吴长山. 基于 TM 影像的克钦湖叶绿素 a 浓度反演[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(12): 2473-2479.
LI Miao, ZANG Shuying and WU Changshan. Inversion of chlorophyll-a concentration based on TM remote sensing image in Keqin Lake. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(12): 2473-2479. (in Chinese)
- [14] 封吉猛, 王欣泽, 林燕, 等. 洱海流域北部入湖河流污染特征分析[J]. 净水技术, 2013, 32(5): 11-15.
FENG Jimeng, WANG Xinze, LIN Yan, et al. Analysis of water pollution characteristics of inflowing rivers into north of Erhai Lake basin. Water Purification Technology, 2013, 32(5): 11-15. (in Chinese)
- [15] 丛丕福, 牛铮, 蒙继华, 等. 1998~2003 年卫星反演的中国陆架海叶绿素 a 浓度变化分析[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(1): 30-33.
CONG Pifu, NIU Zheng, MENG Jihua, et al. Variability of chlorophyll a retrieved from satellite in Chinese shelf sea from 1998 to 2003. Marine Environmental Science, 2006, 25(1): 30-33. (in Chinese)