

水体氮磷高光谱遥感实验研究初探

龚绍琦, 黄家柱*, 李云梅, 陆皖宁, 王海君, 王国祥

南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210097

摘 要 水体中氮、磷含量是衡量水质的主要指标, 遥感技术在环境监测中具有重要意义。利用高光谱遥感技术, 通过测定实验室纯水条件下配比不同浓度氮、磷溶液的反射光谱, 探索水体中有效态氮、磷的特征光谱。结果表明, 氮在波长 404 和 477 nm 各有一反射峰, 磷在 350 nm 处有一明显反射峰, 且与浓度有很好的相关性, 并以这些特征值建立了氮、磷浓度的遥感模型, 为进一步遥感定量研究湖泊、水库和河流等大型内陆水体中的氮、磷奠定了基础。

关键词 水体; 氮磷; 高光谱遥感; 实验

中图分类号: TP79 X87

文献标识码: A

文章编号: 1000-0593(2008)04-0839-04

引 言

水体中总氮、总磷含量是衡量水质的主要指标。常规氮磷的测量方法需要长时间的高温、高压消解, 且消解的温度、时间和试剂对测定的结果均有较大的影响, 整个操作烦琐、费时和耗力^[1], 因此本研究试图利用高光谱遥感技术, 通过对水体中氮、磷光谱的测定, 探索水体氮、磷与反射光谱特征的关系, 建立氮、磷浓度的反演模型, 为湖泊、水库和河流等大型内陆水体氮磷遥感定量监测提供理论依据。

目前的一些研究仅根据总氮、总磷与叶绿素含量之间具有密切的相关关系, 建立总氮、总磷的遥感信息模型。如王建平等(2003年)利用鄱阳湖地区的 TM 影像资料, 建立了该地区总氮、总磷、叶绿素、悬浮物、化学需氧量和溶解氧 6 个参数的人工神经网络反演模型, 研究结果表明该模型能较好地通过遥感影像实现湖泊水质参数的反演, 反演误差基本能控制在 25% 以下^[2]。雷坤等(2004年)利用中巴地球资源 1 号卫星的 CCD 数据和准同步地面监测数据, 结合水体组分的光谱特征, 建立了太湖表层水体叶绿素 a 和总氮遥感信息模型。将获得的遥感信息模型应用于影像上, 得到整个太湖水面的叶绿素 a 和总氮浓度分布图^[3]。吕恒(2004年)应用 TM(ETM+)、MODIS 数据分别建立了反演太湖叶绿素、悬浮物、TN、TP 等水质参数的线性回归模型和人工神经网络模型(吕恒的博士学位论文)。张宵宇等(2005年)根据水体悬浮物含量与颗粒态总磷含量的相关关系, 利用 SeaWiFS 数据反演

得到长江口及附近海域颗粒态总磷分布特征遥感图^[4]; 张穗等(2004年)基于对水体叶绿素光谱特征的分析 and 河口水体富营养化指标的研究, 选取适合长江口特点的叶绿素浓度解译方法, 利用总磷、总氮与叶绿素的相关特征得出适合河口特征的富营养化评价方法。并且在长江口的遥感影像上选取合适的实验区对这一方法进行试验, 取得了较好的结果^[5]。而直接利用遥感技术对水体总氮、总磷监测的研究尚未报道。因此, 我们结合分光光度法测量氮磷的成功经验^[6-8], 在实验室内进行了一系列水体氮磷的光谱实验, 通过光谱分析, 试图建立氮磷的遥感定量模型。

1 实验方案的设计

目前本研究主要在纯水中进行氮磷试验, 并分别以太阳和室内光源作光源, 测定氮磷的反射光谱。总氮: 浓度从 0 ~ 150 mg · L⁻¹ 之间, 共设 15 个处理, 每个处理点浓度间隔 10 mg · L⁻¹; 总磷: 浓度从 0 ~ 37.5 mg · L⁻¹, 共设 15 个处理点, 每个处理点浓度间隔 2.5 mg · L⁻¹。

室内光谱测量在一个能控制光照条件的暗室内进行, 用仪器架支好光谱仪镜头(视场角 5°), 置于离水样表面 0.4 m 的垂直上方, 30 cm × 30 cm 的白色参考板用于获取绝对反射率。一个 1 000 W 的卤光灯放在距水样表面 0.7 m、天顶角 15° 的地方, 提供到水样几乎平行的光线。

以太阳作光源时, 工作时间一般选择在光照最强的 10:00AM ~ 14:00PM, 并随着太阳高度角的变化可调节仪器

收稿日期: 2006-12-19, 修订日期: 2007-03-26

基金项目: 国家高技术研究发展计划“863”计划项目(2003AA131060), 国家自然科学基金项目(40571110)和南京师范大学“研究生培养创新工程”项目资助

作者简介: 龚绍琦, 1979 年生, 南京师范大学地理科学学院博士研究生

e-mail: gongshaoqi@hotmail.com

*通讯联系人

支架的角度,使氮磷每个处理测量的外部条件都一致。

2 仪器与试剂

2.1 仪器

(1) ASD 公司的 FieldSpec Pro 地物光谱仪, 波长范围 350 ~ 2 500 nm, 光谱分辨率在 350 ~ 1 000 nm 范围内为 3 nm, 而在 1 000 ~ 2 500 nm 范围内为 10 nm, 采样间隔为 1 nm; (2) 自动定氮仪; (3) 总磷自动监测仪; (4) 250 mL 容量瓶两个, 烧杯、玻璃棒、10 mL 移液管、吸尔球各一个; (4) 2 L 黑色塑料桶 2 只, 尽量消除水桶壁及底部对光线的反射; (5) 分析天平一个, 室内光源(卤光灯: 功率 1 000 W, 色温 3 100 K), 白色参考板; (6) 自制的仪器支架, 以调节光谱仪镜头方位角, 并固定其高度。

2.2 试剂

(1) $2.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硝酸铵溶液(以 N 计): 称取 1.430 g 纯硝酸铵溶于蒸馏水中, 稀释到 250 mL 容量瓶, 定容后摇匀。

(2) $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的磷酸钠溶液(以 P 计): 称取 1.532 g 纯磷酸钠(12 个结晶水)溶于蒸馏水中, 稀释到 250 mL 容量瓶, 定容后摇匀。

3 测定方法和步骤

(1) 先在水桶里装满蒸馏水, 用光谱仪测量水和桶的混合光谱; (2) 用移液管移取 10 mL 上述配好的硝酸铵试剂, 玻璃棒充分摇匀后, 用光谱仪测水桶中氮溶液的光谱, 每次测完后取出 10 mL 水样供浓度的分析。每次移取 10 mL 试剂, 重复前面操作, 直至完成所有处理。(3) 水体总磷的操作步骤同理。

4 实验结果分析

实验分别于 2004-9-2, 2004-9-18, 2004-10-31 和 2005-7-17 进行, 室外天气晴朗, 阳光充足。

4.1 数据的处理

光线平行入射到氮、磷溶液水气交界面上, 大致将发生以下过程: 水面的镜面反射, 水分子和容器的吸收、散射和反射, 以及氮磷分子的吸收、散射和被光照激发产生的光谱信号。因此光谱仪传感器接收到的光谱信号应包括这三部分的内容(如图 1)。对于氮磷分子散射和被光照激发产生的光谱信号是本文研究的主要内容, 而前两者则是噪声, 该部分信息可由水和容器的混合光谱(如图 2)来表示。为了消除容器及周围环境对测量数据的影响, 用实测的氮磷光谱数据分别减去水和容器的混合光谱数据, 由此得到纯氮磷溶液的反射光谱(如图 3 和图 4)。

4.2 数据分析

由于水分子在近红外对光有强吸收, 氮磷溶液的反射率在波长 1 000 nm 以后迅速下降, 且接近为 0, 因此以下主要

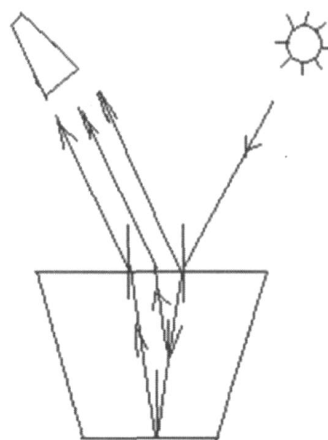


Fig. 1 Process of light transfer into the nitrogen and phosphorus solution

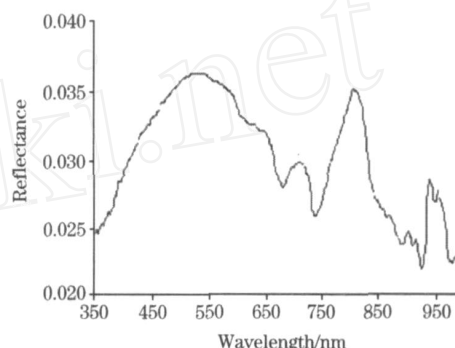


Fig. 2 Mixed spectrum of water and container

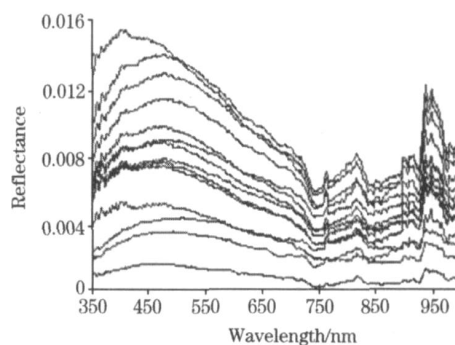


Fig. 3 Spectral reflectance curves of nitrogen

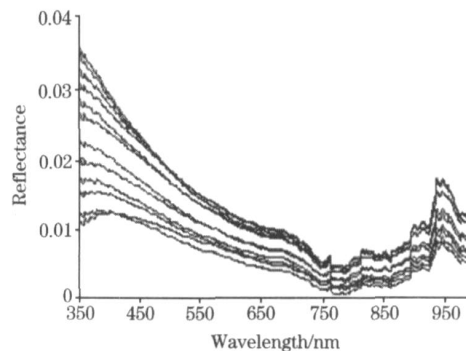


Fig. 4 Spectral reflectance curves of phosphorus

对 350 ~ 1 000 nm 波长范围内氮磷光谱数据进行分析。从氮磷的光谱曲线看,氮在波长 404 nm 处有一小峰、477 nm 处有个明显的反射峰,磷在 350 nm 处有一明显的反射峰,这可能是太阳光短波的能量高,氮磷容易被激发产生各自的特征光谱,这也与紫外分光光度法测量氮磷浓度时所采用的波长相接近^[9, 10]。而在波长 680 nm 以后两者都存在明显的噪声,其波形特征与图 2 相似,而且随着氮磷浓度的增加而增大。从氮磷浓度与反射率的相关曲线(图 5 和图 6)上也可以说明,氮在 404 和 477 nm 波段的相关系数最高,为 0.969 和 0.970,磷在 350 nm 处的相关系数最高,为 0.988,而在 680

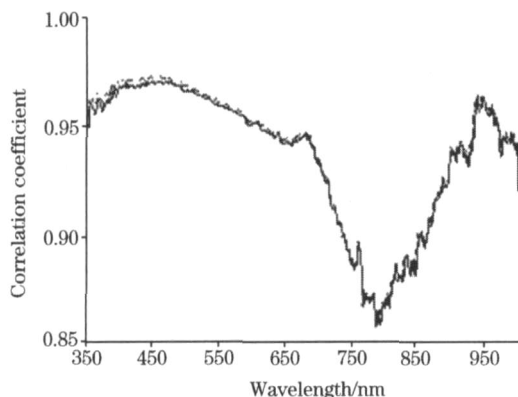


Fig. 5 Correlation between nitrogen concentration and reflectance

—: TH correlation coefficient;
- - -: NO₃ correlation coefficient;
- · - : NH₄ correlation coefficient

nm 以后曲线出现不规则变化,相关系数仍然很高,分别在 0.85 和 0.93 以上。噪声的存在可能屏蔽了氮磷有效的光谱信息,因此本研究在波长 680 nm 以后范围内的特征波段没有用于氮磷遥感的定量分析。

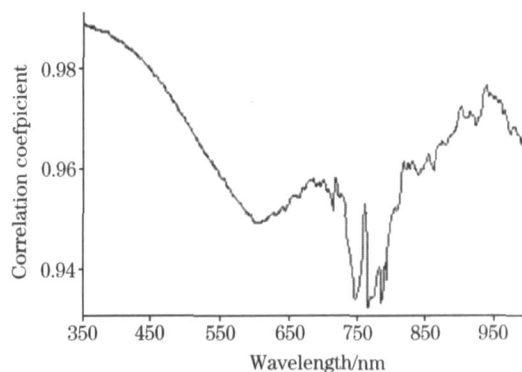


Fig. 6 Correlation between phosphorus concentration and reflectance

4.3 氮磷定量遥感模型的建立

通过对氮磷反射光谱数据的分析, TN, NO₃-N 和 NH₄-N 浓度与反射率的相关性是一致的,因此可以选用总氮浓度分别与其反射峰位置 404 和 477 nm 处反射率值,磷则与其 350 nm 处紫外峰位置的反射率进行回归分析。在观测的 15 个处理点数据中,按照氮磷浓度的大小进行排列,从第 2 个数据起每隔 3 个样本取一个数据作为模型的验证,剩下 11 个样本数据用于建立模型,模型参数及预测检验结果如表 1 所示。

Table 1 Fitted quantity remote sensing model for nitrogen and phosphorus and corresponding parameters and predicting precision

类型	模型模型	拟合参数				预测精度		
		样本数	r^2	F	P	平均误差	平均相对误差/ %	均方根误差
TN	$TN = 18.824 * (r_{404})^{1.14}$	15	0.976	363.59	0	10.024	16.6	10.779
	$TN = -2.43 + 9.764 * r_{477}$	15	0.947	161.39	0	10.775	24.1	11.381
TP	$TP = -2.36 + 1.024 * r_{350}$	15	0.973	321.56	0	1.154	12.3	1.219

5 结论与讨论

5.1 结论

通过对氮磷反射光谱数据的分析,氮在波长 404 和 477 nm 各有一反射峰,磷在 350 nm 处有一明显反射峰,且与浓度有很好的相关性,相关系数分别为 0.969, 0.970 和 0.988,并以这些特征值建立了氮、磷浓度的反演模型(表 1)。从表中可以看出,尽管模型拟合程度很高,但预测精度还较低,主要是氮磷实验设置的处理较少,用于建立模型的样本数偏少所致。

5.2 讨论

(1) 本文氮磷的高光谱实验研究还刚刚起步,尚处于探索阶段,实验本身也在不断完善当中,对于实验结果还有待进一步从分子光谱学、光学机理上作全面的解释和探讨。

(2) 水面对光的镜面反射,以及水分子和容器的散射和反射是本实验的噪声,经分析发现这种噪声不是恒定的,而是随着氮磷浓度的增加而增大,如何消除噪声干扰,提取氮磷在近红外波段的有效信息将作深入的研究。

(3) 本研究现阶段还主要在清水中进行氮磷的高光谱实验,我们将模拟内陆湖泊环境,在有藻类、各种悬浮物的情况下开展氮磷的实验研究,进一步揭示氮磷的遥感机理,为内陆湖泊、水库和河流等大型水体氮磷的遥感监测提供理论基础。

参 考 文 献

- [1] State Environment Protection Administration of China (国家环境保护总局编). Method of Monitoring and Analysis for Water and Wastewater(the 4th Edition). (水和废水监测分析方法, 第 4 版). Beijing: China Environmental Science Press(北京: 中国环境科学出版社), 2002. 243.
- [2] WANG Jian-ping, CHENG Sheng-tong, JIA Hai-feng, et al(王建平, 程声通, 贾海峰, 等). Environmental Science(环境科学), 2003, 24(2): 73.
- [3] LEI Kun, ZHENG Bin-hui, WANG Qiao(雷 坤, 郑丙辉, 王 桥). Acta Scientiae Circumstantiae(环境科学学报), 2004, 24(3): 376.
- [4] ZHANG Xiao-yu, LIN Yi-an, TANG Ren-you, et al(张宵宇, 林以安, 唐仁友, 等). Acta Oceanologica Sinica(海洋学报), 2005, 27(1): 51.
- [5] ZHANG Sui, HE Bao-yin(张 穗, 何报寅). Journal of Yangtze River Scientific Research Institute(长江科学院院报), 2004, 21(3): 29.
- [6] L Ü Wei-xian, GE Ying, WU Jian-zhi, et al(吕伟仙, 葛 滢, 吴建之, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2004, 24(2): 204.
- [7] OU Hui-ying, LE Mei-lin.(欧惠英, 乐美麟). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 1992, 12(5): 123.
- [8] ZUO Xiu-jin, WANG Zhen-xin, DAI Xiao-min, et al(左秀锦, 王祯鑫, 戴小敏, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(6): 1151.
- [9] HUANG Jun-li, BAO Zhi-yu(黄君礼, 鲍治宇). Method of Ultraviolet Absorbing Spectrum and Its Application(紫外吸收光谱法及其应用). Beijing: Chinese Science and Technoledge Press(北京: 中国科学技术出版社), 1992: 639.
- [10] HE Yi-kan, DONG Hui-ru(柯以侃, 董慧茹). Analysis Chemistry Manual(the 2nd Edition): Spectral Analysis(分析化学手册, 第二版, 第三分册光谱分析). Beijing: Chemistry Industry Press(北京: 化学工业出版社), 1998. 84.

Preliminary Exploring of Hyperspectral Remote Sensing Experiment for Nitrogen and Phosphorus in Water

GONG Shao-qi, HUANG Jia-zhu*, LI Yun-mei, LU Wan-ning, WANG Hai-jun, WANG Guo-xiang

Key Laboratory of Virtual Geographical Environment of MOE, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China

Abstract The content of nitrogen and phosphorus in the waters is an important index to measure water quality, and the technique of remote sensing plays a large role in monitoring the change in environment. The reflectance spectra of nitrogen and phosphorus with different concentrations were measured to discover their special features under pure water condition in the laboratory by hyperspectral remote sensing technique. The result shows that nitrogen has reflectance peaks at 404 and 477 nm, and phosphorus at 350 nm, and these reflectance peaks have a good correlation with their concentrations, then a quantitative retrieval model was deduced for nitrogen and phosphorus based on that. These results will lay an important basis for further monitoring nitrogen and phosphorus by remote sensing technique in the big inland lakes, reservoirs and rivers.

Keywords Water; Nitrogen and phosphorus; Hyperspectral remote sensing; Experiment

(Received Dec. 19, 2006; accepted Mar. 26, 2007)

* Corresponding author