

# 联合应用归一化水体和植被指数提取鄱阳湖区钉螺孳生地的研究

王增亮 朱蓉 张志杰 姚保栋 张利娟 高杰 姜庆五

**【摘要】** 目的 应用Landsat TM遥感图像,联合应用归一化水体指数(MNDWI)和植被指数(NDVI)定量化确定鄱阳湖区的钉螺孳生地。方法 利用鄱阳湖地区丰水期和枯水期TM卫星遥感图像,分别提取改进型MNDWI,获取“冬陆夏水”区域;同时提取枯水期归一化植被指数,获取有植被覆盖区域,将两者叠加确定钉螺孳生地,最后与现场调查资料进行空间叠加分析提取结果的灵敏度和特异度,并与传统经验提取法比较。结果 在TM卫星遥感图像上,丰水期和枯水期的MNDWI阈值分别为0.34和0.58,枯水期NDVI的阈值为0.02。钉螺孳生地提取结果的灵敏度为95%,特异度为100%,远优于传统经验提取法(灵敏度为75%,特异度为100%)。结论 联合应用MNDWI和NDVI,并以客观确定阈值提取钉螺孳生地的方法准确率高,可为血吸虫病的定量化自动监测提供技术支持。

**【关键词】** 血吸虫病;钉螺;遥感;归一化水体指数;植被指数

**Identification of snail habitats in the Poyang Lake region, based on the application of indices on joint normalized difference vegetation and water** WANG Zeng-liang<sup>1</sup>, ZHU Rong<sup>1, 2</sup>, ZHANG Zhi-jie<sup>1</sup>, YAO Bao-dong<sup>1</sup>, ZHANG Li-juan<sup>2</sup>, GAO Jie<sup>1</sup>, JIANG Qing-wu<sup>1</sup>. 1 Department of Epidemiology, School of Public Health, Fudan University, Key Laboratory on Public Health Safety, Ministry of Education, Laboratory for Spatial Analysis and Modeling, School of Public Health, Fudan University; Center for GIS Training, School of Public Health, Fudan University, Shanghai 200032, China; 2 National Institute of Parasitic Diseases, Chinese Center for Disease Control and Prevention  
Corresponding authors: JIANG Qing-wu, Email: jiangqw@fudan.edu.cn; ZHANG Zhi-jie, Email: epistat@gmail.com

This work was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (No. 81102167, 81172609), the National Doctoral Dissertation Grant (No. 201186) and Higher Specialized Research Fund for the Doctoral Program Funded Project (No. 20110071120040).

**【Abstract】 Objective** With Landsat TM remote sensing images, snail habitats in Poyang Lake region were identified, using two indices: the modified normalized difference water index (MNDWI) and the normalized difference vegetation index (NDVI). **Methods** Two Remote sensing images of both wet and drought seasons in Poyang Lake region were obtained. MNDWI and NDVI were extracted from the images respectively, to present the regions of “water in summer and land in winter” and the coverage of vegetation. By overlaying those two regions, the areas of potential snail habitats were drawn. Finally, sensitivities and specificities of the recommended methods were assessed and compared to that of the traditional methods for the sake of extracting the areas of snail habitats. **Results** The threshold values of MNDWI for the wet and drought seasons were 0.34 and 0.58, respectively and the threshold value for NDVI of the drought season was 0.02. Sensitivity and specificity of our method were 95% and 100%, respectively, higher than the conventional approach (*se.* = 75%, *sp.* = 100%). **Conclusion** Joint application of MNDWI and NDVI seemed a better method to detect the snail habitats and could be used for the quantitative and automatic surveillance program on snails.

**【Key words】** Schistosomiasis; *Oncomelania hupensis*; Remote sensing; Modified normalized difference water index; Normalized difference vegetation index

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2012.08.015

基金项目:国家自然科学基金(81102167,81172609);全国博士学位论文作者专项资金(201186);高等学校博士学科点专项科研基金(20110071120040)

作者单位:200032 上海,复旦大学公共卫生学院流行病学教研室 公共卫生安全教育部重点实验室 空间分析与建模实验室 GIS培训中心(王增亮、朱蓉、张志杰、姚保栋、高杰、姜庆五);中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所(朱蓉、张利娟)

通信作者:姜庆五, Email: jiangqw@fudan.edu.cn; 张志杰, Email: epistat@gmail.com

血吸虫病目前在我国主要流行于湖区5省(湖南、湖北、江西、安徽和江苏)和四川、云南省的山区<sup>[1,2]</sup>,而水位难以控制的湖沼地区已成为血吸虫病防制的重中之重。钉螺是日本血吸虫惟一中间宿主,因此我国血吸虫病的地理分布与感染性钉螺的分布相一致,研究钉螺孳生地有助于该病的预防控制。钉螺的生存环境有两大特征——“冬陆夏水”和“无草不见螺”。前者即指钉螺的生存环境在夏季“丰水期”被水淹没,冬季“枯水期”露出地面成为滩地;后者即钉螺必须生存在有植被覆盖的区域。这些环境因素可通过遥感图像识别和提取,这就使得遥感(RS)技术应用于血吸虫病和钉螺的研究中具有可行性<sup>[3-9]</sup>。本研究基于TM卫星遥感图像,首次联合应用归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)和改进型归一化水体指数(modified normalized difference water index, MNDWI)两指标研究鄱阳湖区钉螺孳生地<sup>[10-12]</sup>,并与传统方法对比,对控制钉螺与预防血吸虫病的传播和流行具有重要意义。

资料与方法

1. 研究区域概况:鄱阳湖区位于东经115.49°~116.46°、北纬28.24°~29.46°,属中亚热带地区,气候温暖湿润,日照充足,雨量充沛,湿地洲滩面积广阔,每年4—9月为丰水期,10月至次年3月为枯水期,适宜钉螺生存和繁衍。湖区血吸虫病部分疫区疫情仍处较高水平,其中沿湖11个县(市、区)是我国最严重的流行区之一<sup>[11]</sup>。

2. 卫星遥感数据:鄱阳湖区有螺洲滩的高程分布范围是14.6~16.4 m,洲滩高程差约为1.8 m;参考湖中部的棠荫水文站日水位,寻找水位14.6 m和16.4 m左右时段比较清晰的TM遥感图像,从而最大限度探测钉螺孳生地。遥感图像为陆地卫星(Landsat Thematic Mapper, Landsat TM)遥感数据,已进行几何校正预处理,包括7个波段(TM1~TM7),其丰水期(16.4 m水位)和枯水期(14.6 m水位)图像的时相分别为2006年6月12日和2004年10月28日。

3. 钉螺孳生地的定位:为确定NDVI值的分布范围以及检验钉螺孳生地提取方法的效果,选取星子县58个有螺洲滩点,其中38个用于后续确定NDVI的阈值,另20个作为验证点;而MNDWI的阈值通过在遥感图像上人工识别100个水体点获得。

4. 资料处理方法:利用丰水期和枯水期的TM

卫星遥感图像,根据MNDWI和NDVI阈值,分别提取出“冬陆夏水”区域和有植被覆盖区域,再将两者叠加确定钉螺可能的孳生地,最后评价该方法的灵敏度和特异度(图1)。

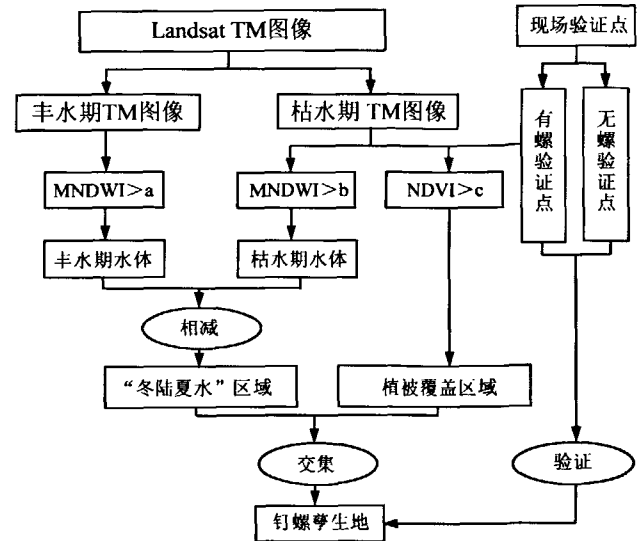


图1 钉螺孳生地提取流程

(1)提取“冬陆夏水”区域:水体对入射能量具有强吸收性,且随波长的增加,水体的反射率具有下降的趋势。水体在近红外和中红外波段(740~2500 nm)的反射能量很少,在可见光波段(482~580 nm)的反射较多,而土壤、植被正好相反。为区别植被、土壤以及消除建筑物的影响,本研究选用绿光波段和中红外波段计算MNDWI的方法分别提取丰水期和枯水期TM卫星遥感图像的水体区域<sup>[12,13]</sup>,然后将丰水期水体区域与枯水期水体区域相减获得“冬陆夏水”区域。计算MNDWI的公式:

$$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$$

式中Green为绿光波段, MIR为中红外波段,在Landsat TM图像中,分别对应第2、5波段。

(2)提取植被覆盖区域:根据“无草不见螺”的特征,通过计算枯水期TM图像NDVI估算植被覆盖度<sup>[14]</sup>。NDVI是利用植被叶绿素在红光波段强吸收反射,在近红外区强反射的光谱特性来区别其他地物,其计算公式:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

式中NIR为近红外波段, R为红光波段,在Landsat TM图像中分别对应第4、3波段。

(3)提取钉螺孳生地:将“冬陆夏水”区域和枯水期植被覆盖区域的遥感图像叠加得到可能的钉螺孳生地,其叠加公式<sup>[11,15]</sup>:

$$(MNDWI_{wet} > a - MNDWI_{dry} > b) \text{ AND } (NDVI_{dry} > c)$$

式中MNDWI<sub>wet</sub>、MNDWI<sub>arid</sub>分别为丰水期和枯水期同MNDWI, a、b分别为其阈值。a、b值的确定方法是从丰水期和枯水期遥感图像上分别选取100个水体采样点的MNDWI值,以其分布的95%单侧参考值范围的下限值做水体的阈值(P5)。MNDWI<sub>wet</sub>>a为丰水期水体区域, MNDWI<sub>arid</sub>>b为枯水期水体区域, MNDWI<sub>wet</sub>>a-MNDWI<sub>arid</sub>>b为“冬陆夏水”区域。NDVI<sub>arid</sub>为枯水期归一化植被指数, c为其阈值(NDVI分布的95%单侧参考值范围的下限值, P5), NDVI<sub>arid</sub>>c为有植被覆盖区域。

5. 钉螺孳生地的验证:另选取星子县20个无螺验证点与上述20个已知钉螺洲滩验证点一起,计算本研究提取钉螺孳生地方法的灵敏度和特异度。将枯水期TM图像合成假彩色图像。在假彩色合成过程中,蓝色使用TM3波段数据,绿色使用TM4波段数据,红色使用TM5波段数据。将本文(3)中提取的可能钉螺孳生地与枯水期假彩色合成图像叠加,形成钉螺孳生地示意图。

6. 与传统确定MNDWI和NDVI阈值提取方法比较:利用张利娟等<sup>[16]</sup>在2004-05-05和2004-10-28两时相TM图像的MNDWI阈值(MNDWI<sub>wet</sub>、MNDWI<sub>arid</sub>阈值分别为0.25、0.30)和张健钦<sup>[17]</sup>的NDVI阈值(0.10)为本文遥感图像提取钉螺孳生地,并以本文的验证点计算其灵敏度和特异度,比较两种提取方法的优劣。

以上各步骤遥感图像的处理与分析均借助ERDAS IMAGING 9.2和ArcGIS 9.3软件中完成。

结 果

1. 提取结果:

(1)“冬陆夏水”区域:根据丰水期和枯水期遥感图像上选取100个水体采样点的MNDWI值的分布情况(表1),最终确定阈值a=0.34、b=0.58。根据MNDWI<sub>wet</sub>>0.34的区域为丰水期水体区域, MNDWI<sub>arid</sub>>0.58的区域为枯水期区域,二者相减得到“冬陆夏水”的区域。

表1 MNDWI<sub>arid</sub>、MNDWI<sub>wet</sub>和NDVI<sub>arid</sub>分布

指数类型	采样点数	$\bar{x} \pm s$	M	最大值	最小值
MNDWI <sub>wet</sub>	100	0.70±0.22	0.73	1.00	0.17
MNDWI <sub>arid</sub>	100	0.77±0.12	0.77	1.00	0.38
NDVI <sub>arid</sub>	38	0.22±0.12	0.19	0.49	0.00

(2)植被覆盖区域:根据枯水期38个现场有螺点的NDVI值的分布情况(表1),最终确定c=0.02为植被提取的阈值,以NDVI<sub>arid</sub>>0.02得到有植被

覆盖区域。

(3)钉螺孳生地:将“冬陆夏水”区域与植被覆盖区域的交集叠加得到钉螺孳生地的区域(图2)。

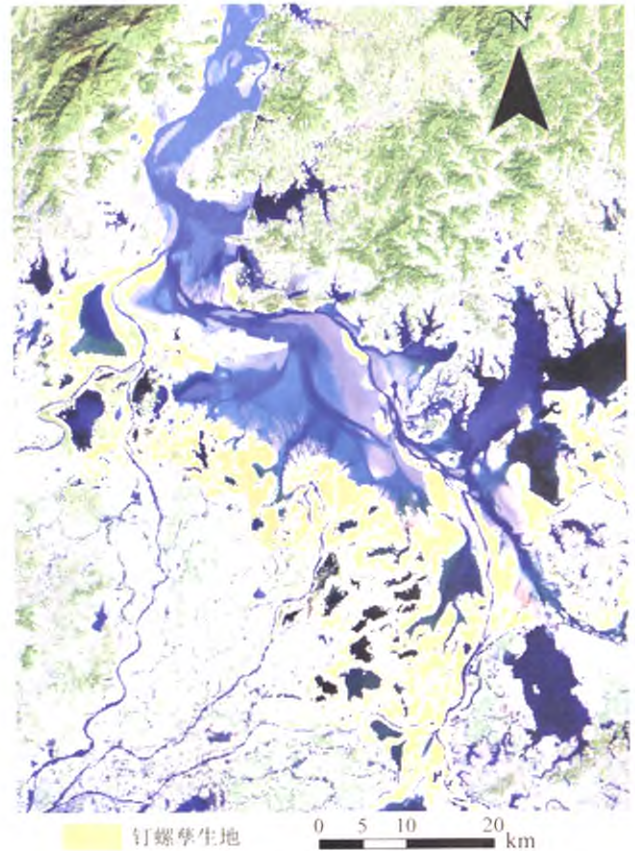


图2 鄱阳湖区钉螺孳生地示意图

2. 钉螺孳生地验证:本研究钉螺孳生地提取方法的灵敏度为95%,特异度为100%(表2~4)。

3. 与传统选取MNDWI和NDVI阈值提取方法比较:传统根据经验值的方法提取螺孳生地的灵敏度为75%,特异度为100%(表2~4)。

讨 论

目前遥感技术中常用的遥感数据图像主要有Landsat TM图像、SPOT-5图像、MODIS图像、IKONOS图像等,其中Landsat TM图像含有7个波段,除第6波段外其余6个波段均以30 m×30 m像元记录数据。以往主要通过遥感分类(如监督分类、非监督分析)区分不同的地物,而近年来则借助定量指标加以识别。张志杰<sup>[3]</sup>于2008年首次将NDWI引入钉螺孳生地的研究,李源培等<sup>[15]</sup>进一步证实了其有效性。本研究则根据水体在第2波段反射率高、第5波段反射率低的波谱特征,采用MNDWI的方法提取水体,比NDWI方法更能避免建筑物(在第2波段反射率高,第4波段发射率低而在第5波段反射

表 2 鄱阳湖区有螺验证点验证结果

乡镇	洲滩编号	经度(°)	纬度(°)	洲滩面积(km <sup>2</sup> )	是否在钉螺孳生地内	
					本文方法	传统方法
白鹿	1	116.06	29.45	0.58	是	是
	2	116.07	29.49	1.46	是	是
	3	116.01	29.47	0.10	是	是
蛟塘	4	115.90	29.25	1.11	是	是
	5	115.94	29.28	0.64	是	是
	6	115.93	29.21	1.67	是	是
	7	115.95	29.20	2.13	是	否
蓼南	8	115.94	29.24	0.87	是	是
	9	115.99	29.25	0.40	是	是
	10	116.00	29.28	2.25	是	是
	11	115.99	29.24	1.55	是	是
	12	115.94	29.16	3.99	是	是
	13	115.99	29.31	0.17	否	否
	14	116.02	29.20	0.27	是	是
	15	115.91	29.14	0.30	是	否
	16	116.04	29.33	0.50	是	否
	17	115.93	29.15	0.23	是	是
沙湖山	18	115.89	29.18	2.22	是	是
温泉	19	116.03	29.45	10.67	是	否
	20	115.99	29.42	0.91	是	是

表 3 鄱阳湖区无螺验证点验证结果

乡镇	行政村编号	经度(°)	纬度(°)	是否在钉螺孳生地内	
				本文方法	传统方法
白鹿	1	116.06	29.50	否	否
	2	116.04	29.47	否	否
蛟塘	3	115.93	29.29	否	否
	4	115.92	29.30	否	否
	5	115.94	29.32	否	否
	6	115.92	29.28	否	否
蓼华	7	115.95	29.28	否	否
	8	116.00	29.40	否	否
	9	115.99	29.40	否	否
蓼南	10	115.97	29.30	否	否
	11	116.02	29.31	否	否
南康	12	116.04	29.45	否	否
	13	116.04	29.45	否	否
	14	116.05	29.45	否	否
沙湖山	15	115.89	29.17	否	否
苏家当	16	115.90	29.27	否	否
	17	115.88	29.29	否	否
	18	115.91	29.29	否	否
温泉	19	115.88	29.40	否	否
	20	115.95	29.43	否	否

表 4 与传统 MNDWI 和 NDVI 阈值确定方法结果的比较

阈值确定	有螺验证点		灵敏度 (%)	无螺验证点		特异度 (%)
	总数	正确数		总数	正确数	
本文方法	20	19	95	20	20	100
传统方法	20	15	75	20	20	100

率突增)对水体提取的影响,因而大大提高了提取水体的精度。但由于以往钉螺孳生地提取的研究中应用的传感器影像(如 SPOT-3 系列、IKONOS、QUICBIND 等)无中红外波段(MIR)对应数据,无法应用 MNDWI,故研究较少<sup>[12]</sup>。此外,以往对水体指数和植被指数阈值的选取往往根据经验值确定,难以获取准确信息。

应用 Landsat TM 图像提取的钉螺孳生地与现场验证点叠加分析的结果显示灵敏度为 95%,远优于传统的经验提取法(灵敏度为 75%),因此本方法提取结果的可靠性更好。在应用传统的确定 MNDWI 和 NDVI 阈值提取方法提取钉螺孳生地过程中发现,由于在提取水体和植被信息时使用传统经验的 MNDWI 和 NDVI 阈值与不同遥感图像对应的实际阈值有一定偏差,使提取的水体和植被覆盖区域比实际区域或偏大或偏小,最后确定的钉螺孳生地范围与实际范围亦产生偏差,因此在钉螺孳生地的提取研究中建议采用本研究推荐的确定指标阈值方法,以提高研究结果的准确性和可靠性。本研究应用 Landsat TM 图像联合使用 NDVI 和 MNDWI 两指标较为准确地提取了钉螺孳生地,但钉螺的生存与繁衍不仅与水体和植被两因素有关,还受温度、土壤湿度以及植被类型等因素的影响,因此今后研究应将这些因素引入至模型。

参 考 文 献

- [1] Zhou XN, Lin DD, Wang TP, et al. Control strategy of schistosomiasis and key points in the 12th Five-Year Plan in China. Chin J Schisto Control, 2011, 23(1):1-4. (in Chinese)  
周晓农, 林丹丹, 汪天平, 等. 我国“十二五”期间血吸虫病防治策略与工作重点. 中国血吸虫病防治杂志, 2011, 23(1):1-4.
- [2] Yuan HC, Jiang QW, Zhao GM, et al. Achievements of schistosomiasis control in China. Mem Inst Oswaldo Cruz, 2002, 97(1):187-189.
- [3] Zhang ZJ. Spatial analysis on the high risk regions for Schistosomiasis Japonica and identification of active transmission sites. Fudan University, 2008. (in Chinese)  
张志杰. 湖沼地区血吸虫病高风险区域的空间分析及重点钉螺孳生地的探测. 复旦大学, 2008.
- [4] Jiang QW, Liu JX, Lin T, et al. Study on the identification of the water body from marshland in schistosomiasis endemic areas using TM Remote sensing data. Chin Public Health, 2001, 17(4): 289-290. (in Chinese)  
姜庆五, 刘建翔, 林涛, 等. 利用 TM 卫星遥感图像对鄱阳湖血吸虫病流行区水体识别的研究. 中国公共卫生, 2001, 17(4): 289-290.
- [5] Zhang SQ, Jiang QW, Wang TP, et al. Ecological surveillance on breeding ground for *Oncomelania hupensis* snails in the areas

- prevalent with islet-type schistosomiasis using remote sensing technology. *Chin J Prev Med*, 2003, 37 (5) : 331-334. (in Chinese)
- 张世清, 姜庆五, 汪天平, 等. 遥感技术用于洲滩型血吸虫病流行区钉螺孳生地生态的监测. *中华预防医学杂志*, 2003, 37(5): 331-334.
- [6] Yilma JM, Malone JB. A geographic information system forecast model for strategic control of fasciolosis in Ethiopia. *Vet Parasitol*, 1998, 78(2): 103-127.
- [7] Rodgers SE, Jones SJ, Macey SM, et al. Using geographical information systems to assess the equitable distribution of traffic-calming measures: translational research. *Inj Prev*, 2010, 16(1): 7-11.
- [8] Wu WP, George D, Liu HY, et al. Application of remote sensing for surveillance of snail habitats in Poyang Lake, China. *Chin J Parasit Dis*, 2002, 20(4): 205-208. (in Chinese)
- 伍卫平, George D, 刘红云, 等. 遥感用于鄱阳湖区钉螺孳生地的监测. *中国寄生虫学与寄生虫病杂志*, 2002, 20(4): 205-208.
- [9] He MZ, Peng WX, Zhou YB, et al. Application of Landsat TM images on the snail habitats monitoring in mountainous regions. *Fudan University J Med*, 2010, 37(5): 510-513. (in Chinese)
- 何明祯, 彭文祥, 周艺彪, 等. 遥感图像在山区钉螺孳生地监测中的应用. *复旦大学学报: 医学版*, 2010, 37(5): 510-513.
- [10] Qin JX, Tan ZF, Zhang C. Environment factors and spatial characters of distribution of *Oncomelania* snails in islet and beach of Dongting Lake area. *J Nat Disas*, 2008, 17(4): 19-27. (in Chinese)
- 秦建新, 谭子芳, 张春. 洞庭湖区江滩钉螺分布的环境因子及空间特征——基于 RS/GIS 的研究. *自然灾害学报*, 2008, 17(4): 19-27.
- [11] Peng WX, Zhang ZJ, Zhou YB, et al. Preliminary study on snail index in lake and marshland regions. *Chin J Schisto Control*, 2007, 19(5): 334-337. (in Chinese)
- 彭文祥, 张志杰, 周艺彪, 等. 湖沼地区钉螺指数的初步研究. *中国血吸虫病防治杂志*, 2007, 19(5): 334-337.
- [12] Xu HQ. Study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI). *J Remote Sensing*, 2005, 9(5): 589-595. (in Chinese)
- 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究. *遥感学报*, 2005, 9(5): 589-595.
- [13] McFeeters SK. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *Internat J Remote Sensing*, 1996, 17(7): 1425-1432.
- [14] Li MM. The method of vegetation fraction estimation by remote sensing. Graduate School Chinese Academy of Sciences (Institute of Remote Sensing Applications), 2003. (in Chinese)
- 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究. 中国科学院研究生院(遥感应用研究所), 2003.
- [15] Li YP, Li LH, He MZ, et al. Snail habitats detection in the marshland of Eastern Dongting Lake Area, based on China-Brazil Earth Resources Satellite-02B CCD data. *Chin J Epidemiol*, 2011, 32(6): 583-586. (in Chinese)
- 李源培, 李林瀚, 何明祯, 等. 基于 CBERS-02B 卫星 CCD 影像的东洞庭湖区洲滩钉螺孳生地探测. *中华流行病学杂志*, 2011, 32(6): 583-586.
- [16] Zhang LJ, Zhu R, Jiang WS, et al. The impact of water level changes on distribution of snails around lake areas reacted by thematic mapper images. *Chin J Prev Med*, 2010, 44 (4) : 319-323. (in Chinese)
- 张利娟, 朱蓉, 姜唯声, 等. 专题制图仪影像分析湖区水位变化对钉螺孳生分布的影响. *中华预防医学杂志*, 2010, 44(4): 319-323.
- [17] Zhang JQ. Research on monitor and simulation of schistosomiasis around Poyang Lake based on remote sensing and agent. Graduate School Chinese Academy of Sciences (Institute of Remote Sensing Applications), 2006. (in Chinese)
- 张健钦. 基于遥感和智能体的鄱阳湖区血吸虫病监测和模拟研究. 中国科学院研究生院(遥感应用研究所), 2006.

(收稿日期: 2012-03-08)

(本文编辑: 张林东)