

基于 NDVI 的三峡大坝岸边植被时空特征分析

王晶晶^{1,3}, 白雪^{2,3}, 邓晓曲⁴, 王明翠⁵

(1 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083;

2 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 3 中国环境科学研究院, 北京 100012

4 湖南省怀化市环境保护局, 怀化 418000; 5 中国环境监测总站, 北京 100012)

摘要: 三峡工程建设对生态系统中植被的破坏很明显, 尤其是岸边带附近。本文基于多时相遥感图像, 采用 NDVI 序列计算植被覆盖度, 通过比较三峡大坝蓄水前后 1978、1999、2006 年 3 个时期坝区 9 月份岸边 3km 缓冲区的植被覆盖度特征、动态变化, 描述了研究区各年份植被覆盖分布以及近 30 年的植被覆盖变化特征; 同时, 从面积角度定量, 采用分级分析了变化大小, 并应用统计学的非参数 Wilcoxon 秩和检验方法对不同时期、不同土地利用类型的覆盖度样本进行了检验, 得到如下结论: 近 30 年间, 三峡大坝岸边带植被覆盖变化显著, 1978~1999 年时间段, 由于大坝工程建设植被破坏程度较高, 有植被覆盖的区域面积下降了 3.31km²; 1999 年至 2006 年时间段, 在有 8km²的淹没区情况下, 有植被覆盖的区域仅下降 1.57km², 说明植被恢复较明显。近 30 年间, 三峡大坝植被覆盖度整体上有增加的趋势。

关键词: NDVI; 植被覆盖度; Wilcoxon 秩和检验; 时空变化

1 引言

植被是环境的重要组成因子, 也是反映区域生态环境最好的指标之一, 同时也是土壤、水文等要素的解译标志。而且植被具有规律的年际变化, 因此, 它对地表的年际覆盖变化有很强的指示作用。NDVI 是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子, 它能够相当精确地反映植被绿度、光合作用强度, 反映植被代谢强度及其季节和年际变化^[1]。因此, NDVI 是监测地区或全球植被和生态环境变化的有效指标^[2]。此外, 在对植被动态进行监测时, 对于 MSS、TM 传感器来说, 应用 NDVI 得到的结果比较适用于植被发育中期或中等覆盖度得植被监测^[3]。

河流提供了供水、生物保护与景观等多种生态服务功能, 岸边带即水陆交错带, 是陆地生态系统和水生生态系统之间进行物质、能量、信息交换的重要生物过渡带。随着筑坝等人类活动的干扰, 破坏了河岸植被带从而扰乱河流流态与水文循环过程, 引起河流生态系统的退化。因此, 河岸带正是河流生态修复的瓶颈和节点^[4]。岸边带的植被覆盖度变化研究可以作为环境修复的重

要依据, 并且在经济评估角度、生态学、景观学以及社会科学等方面都具有重要的作用。Lowrance 等 (1985) 将岸边带定义为临近水体的植被与其他有机体的复杂集合, 是陆地生态系统和水生生态系统的过渡区域; 这个区域没有明确的边界, 空间形态多为线型; 河岸、洪积平原和湿地等都可能属于岸边带^[5-10]。国内学者主要研究了河岸植被缓冲带的功能, 并且针对不同河岸带区域进行了生态重建的实验研究, 此外, 在河岸带土地利用、河岸带景观规划等方面也展开了一定的研究。很多学者从生态恢复和建设的角度出发, 探讨了河岸带的生态重建问题。目前的研究主要集中在河岸带结构、宽度、功能、动态, 以及受到破坏的河岸带生态重建及其维护管理几个方面^[6]。国外对于河岸带的研究主要集中在河岸缓冲区的描述和制图分析方面。在此基础上, 结合实例探讨了河岸带内相关因素的相互作用机制, 强调了这一地域集成研究的重要性^[7]。

本文主要以三期植被覆盖较高的 9 月的多时相遥感影像为资料, 参考土地利用数据、社会经济统计资料, 定性及定量分析了三峡大坝岸边带的不同时期的 NDVI 变化, 从而得到植被覆盖度变

收稿日期: 2008-06-10; 修回日期: 2008-11-15

作者简介: 王晶晶 (1984-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事流域环境管理方面的研究。E-mail: wangjj07@126.com

化信息, 并对植被覆盖度以及变化情况进行了分级分析。目的在于探讨近 30 年间三峡大坝附近由于大坝的建设所带来的植被覆盖度的变化趋势。

2 研究数据与方法

2.1 研究区地理背景与数据源

三峡工程始建于 1994 年 12 月 14 日, 2003 年 6 月, 三峡工程正式下闸蓄水, 水库蓄水至 135m, 2006 年 10 月, 三峡水库坝上水位达到 156m 高程, 2008 年 11 月, 将达到 175m 蓄水高程。大坝建设区域 (坝区) 位于北纬 31°、东经 111°附近, 坝区面积 15.2km²。地处长江三峡西陵峡中段, 为山地东西向河谷地形。处于我国第二级地阶东缘, 亚热带大陆性季风气候, 属常绿阔叶林和阔叶混交林植被, 除疏木、幼林、灌丛自然植被外, 长江水体也占坝区相当大的面积。随着工程建设和坝区绿化进程以及建成后的分期蓄水, 坝区地表属性和局地气候也处于相对变化的过程中^[8]。原生植被为亚热带常绿阔叶林。

本文研究的区域为以湖北省宜昌市三斗坪县的三峡大坝坝址为中心, 以宜昌县土地利用为参考数据, 向上下游延伸, 上游延伸至宜昌县太平溪镇, 下游延伸至汉宜高速西端, 总长约为 17km, 以这段长度为基准, 选定特定的缓冲区范围进行分析, 研究区略图如图 1 (17km 即约为图框内河道中心线长度), 其行政范围为宜昌县的太平溪、乐天溪、三斗坪 3 镇、秭归县茅坪镇的部分地区。

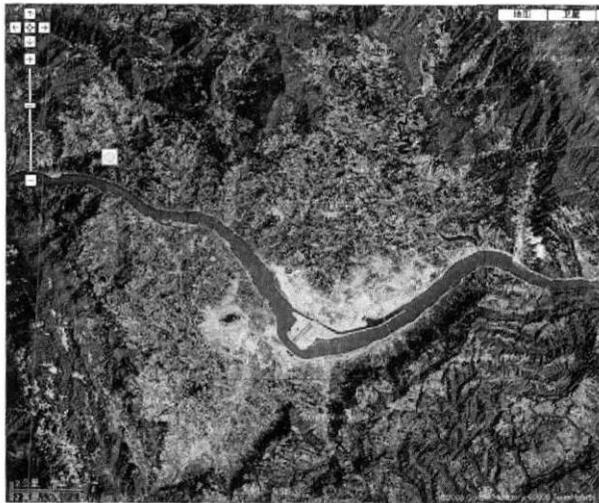


图 1 研究区略图 (取自 google earth 2008)

Fig. 1 Sketch map of the study area (from google earth 2008)

本文所使用的数据源有三峡坝区附近的 1978 年 9 月 30 日的 MSS、1999 年 9 月 1 日和 2006 年 9 月 12 日的 TM 数据, 2000 年的湖北省宜昌县、秭归县土地利用矢量数据。应用 ARCGIS9.2、ENVI4.4、SPSS16.0 等软件处理遥感数据和矢量数据。

2.2 基于 NDVI 的植被时空变化计算处理

(1) 岸边带范围的确定

通过对所选河段按 1km 间隔从 1km 到 5km 进行缓冲带的分析、NDVI 提取、平均植被覆盖度的计算, 结果在 3km 以内, 研究区的平均植被覆盖度均逐渐上升。但 1978 年图像在 4km 处平均植被覆盖度迅速下降, 并低于 1999 年和 2006 年, 可见, 大坝的建设对周围 4km 植被范围的影响并非决定因素。因此, 本文取 3km 作为缓冲区的范围, 对面积约 127.71km² 的大坝岸边植被覆盖度时空变化作了分析。

(2) 数据处理方法

采用 NDVI 来计算植被覆盖度, 即公式^[9]:

$$NDVI = (\rho_{R} - \rho_{I}) / (\rho_{R} + \rho_{I}) \quad (1)$$

对于 MSS 数据: $NDVI = (\rho_4 - \rho_2) / (\rho_4 + \rho_2)$ (2)

对于 TM 数据: $NDVI = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3)$ (3)

植被覆盖度计算模型:

$$f = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (4)$$

具体处理流程如图 2。

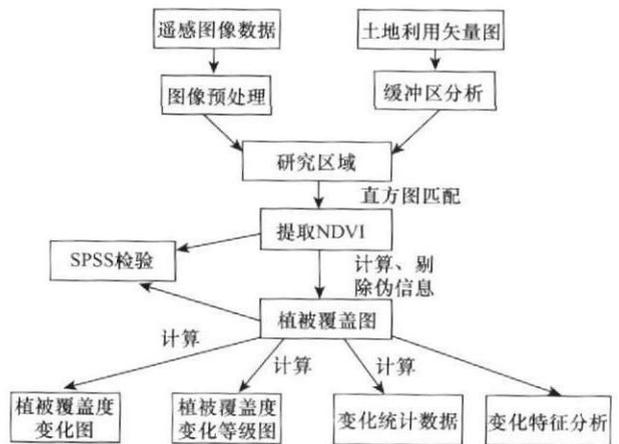


图 2 数据处理流程图

Fig. 2 Flow chart of data processing

3 三峡大坝植被时空特征分析

3.1 坝区植被分布特征分布

由于 NDVI 值小于 0 代表无植被覆盖^[11]，因此，得到的植被覆盖度图像应剔除 NDVI 小于 0 的区域，根据公式 (1~4) 得到相应的 NDVI 及植被覆盖图如下：

从图 3 可以看出，1978 年的平均植被覆盖度为 29.57%，1999 年为 28.99%，2006 年为 29.77%；另外，1978 年，在研究区东南方向，有明显的两条条带状的无植被覆盖区域，其余地区无明显裸地，东北部乐天溪支流附近小范围的无植被覆盖区，而在上游两岸，也有植被破碎现象；而由于 1998 年洪水的影响，1999 年水面宽度明显

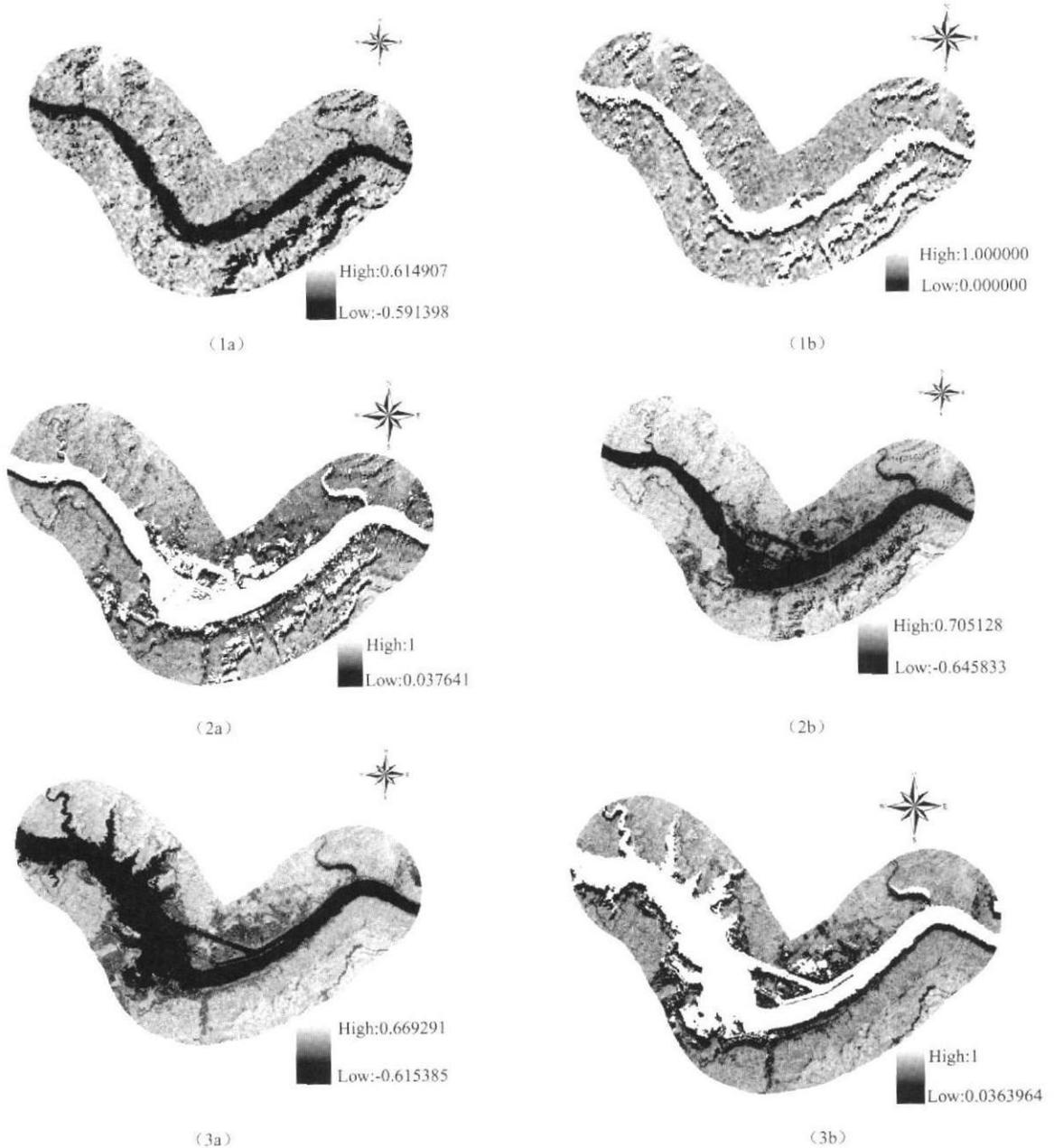


图 3 研究区三期 NDVI 及植被覆盖度图：1、2、3 分别代表 1978、1999、2006 年；a、b 分别代表 NDVI、植被覆盖度 (注：亮白色为无植被覆盖地区)

Fig. 3 NDVI and vegetation fraction maps of the study area in 1978, 1999 and 2006. 1, 2 and 3 represent 1978, 1999 and 2006. a and b represent NDVI and vegetation fraction (the white represent areas without vegetation)

大于 1978 年, 使沿岸植被覆盖有所下降, 但东南条带状裸地面积明显减小, 而由于开始建设的三峡大坝, 坝址附近的植被破坏严重, 乐天溪支流的植被覆盖有所好转; 到了 2006 年, 由于工程的进一步建设, 加之 2003 年开始蓄水, 形成上游淹没区, 直接导致了上游无植被覆盖扩大, 但下游基本上没有裸地, 尤其东南区域的裸地条带已完全消失。三期平均植被覆盖度对比可以看出, 整体上大坝开始建设后, 1999 年的植被覆盖度低于 1978 年 0.58%, 而 2006 年高于 1999 年 0.78%。可见, 自大坝建设后, 植被破坏程度明显, 而 1999~2006 年 7 年之间植被得以恢复。

3.2 植被覆盖时空变化特征分析

根据区域特点, 并结合水利部颁布的“土壤侵蚀分类分级标准”将三期的植被覆盖度进行分级^[12], 具体如下:

iv 级: 裸地的植被覆盖度小于 15%, 对应于地面的居民点、水域利用土地及交用地等;

㉔级: 低覆盖植被的盖度为 15%~30%, 对应于地面的低产草地、林地等;

㉕级: 中覆盖植被的盖度为 30%~60%, 对应于地面的中、高产草地、林地及农田等;

㉖级: 高覆盖植被的盖度大于 60%, 对应于地面的优良草地、密林地等;

根据上述分级, 统计植被覆盖的面积见表 1。

由表 1 可见, 三期的裸地面积逐渐减少; 低植被覆盖面积 1999 年较 1978 年增加, 但 2006 年稍有下降; 中植被覆盖面积三期逐渐增加, 但幅

表 1 各级植被覆盖面积及比例

Tab 1 Area and proportion of vegetation cover in different grades

年份	植被覆盖面积 (km ²)	百分比 (%)	
1978	iv 级	2.64	2.07
	㉔级	1.98	1.55
	㉕级	11.01	8.62
	㉖级	77.37	60.58
1999	iv 级	0.80	0.63
	㉔级	4.60	3.60
	㉕级	11.93	9.34
	㉖级	72.36	56.66
2006	iv 级	0.18	0.14
	㉔级	4.11	3.22
	㉕级	12.0	49.42
	㉖级	71.80	56.22

度不大; 高植被覆盖面积逐渐减少, 1999 年较 1978 年减小 4 个百分点, 2006 年较 1999 年下降很小。由表 1 可看出, 随着大坝的建设, 1999 年研究区有植被覆盖的区域面积较 1978 年总共下降了 3.31 km², 占总面积的 2.59%, 2006 年, 研究区因蓄水形成了淹没区, 在这种情况下, 有植被覆盖的面积仅较 1999 年下降了 1.57 km², 占总面积的 1.23%, 说明 2006 年植被覆盖度较 1999 年是有所提高的。

根据各期的植被覆盖度增加及减小的百分率, 并结合 2003 年后三峡蓄水的实际情况, 将植被覆盖度变化分为 4 级, 分别是高度变化、中度变化、轻度变化、淹没区, 对应着相应的覆盖度变化界限值如下:

表 2 各时段植被覆盖度变化分级界限

Tab 2 Vegetation fraction limits of different grades between different periods

等级	1978~1999		1999~2006		1978~2006	
	增加	减小	增加	减小	增加	减小
淹没区	无	无	< -0.65	< -0.65	< -0.65	< -0.65
高度变化	> 0.6	< -0.6	> 0.6	-0.65~-0.5	> 0.6	-0.65~-0.5
中度变化	0.3~0.6	-0.6~-0.3	0.3~0.6	-0.6~-0.3	0.3~0.6	-0.3~-0.5
轻度变化	0~0.3	-0.3~0	0~0.3	-0.3~0	0~0.3	-0.3~0

以上各个时段植被覆盖度变化趋势详见图 4。

从表 3 可以看出, 1978~1999 年, 轻度变化的面积百分比合计达到了 55.4%, 其中轻度增加

在全区都有体现, 而轻度减少主要集中在大坝的周围; 中度变化面积百分比合计达到了 9.7%, 主要体现在东南条带区域增加、大坝附近减少; 高

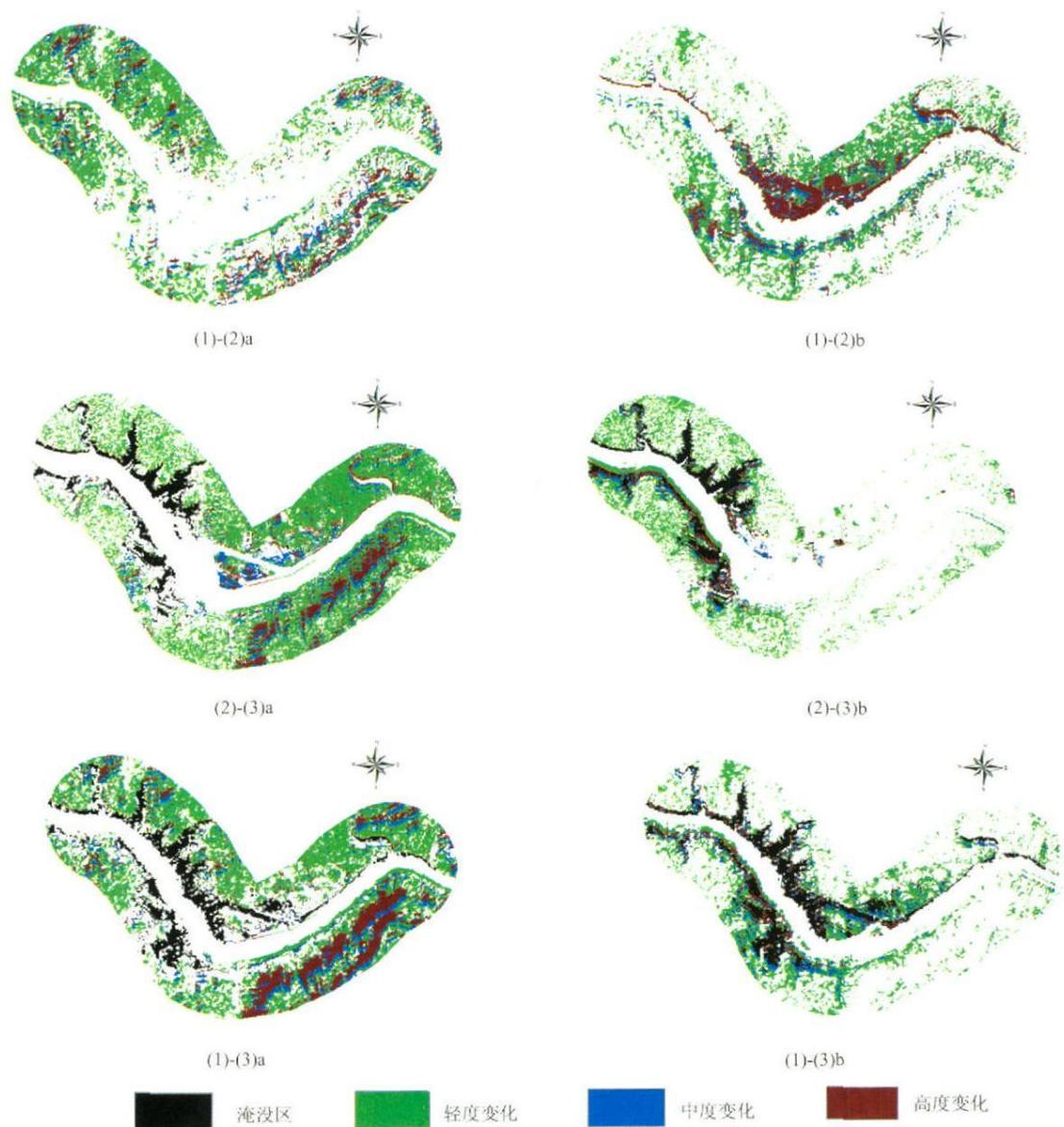


图 4 研究区各时间段植被覆盖度变化等级图: (1)、(2)、(3) 分别代表 1978、1999、2006 年; a、b 分别代表增加、减少

Fig. 4 Vegetation fraction changes of different grades between different periods in study the area

(1)-(3) represent 1978、1999 and 2006; a and b represent increases and decreases

表 3 各时段植被覆盖面积变化

Tab. 3 Area of vegetation cover changes between different time

年份	面积	高度变化面 积 (km ²)	百分比 (%)	中度变化 面积 (km ²)	百分比 (%)	轻度变化 面积 (km ²)	百分比 (%)	淹没区 (km ²)	百分比 (%)
1978~1999 年	增加	7.11	5.57	6.86	5.37	39.77	31.14	5.59	4.38
	减小	10.82	8.47	5.53	4.33	30.97	24.25	-	-
1999~2006 年	增加	6.87	5.38	6.43	5.04	47.85	37.34	8.00	6.27
	减小	2.82	2.21	2.40	1.88	23.28	18.23	-	-
1978~2006 年	增加	11.46	8.98	7.60	5.95	41.10	32.18	13.59	10.64
	减小	2.77	2.17	4.74	3.71	23.88	18.7	-	-

度变化的面积百分比合计达到了 14.04%，同样增加在东南条带区域、减少在大坝附近；减少的区域均集中在大坝附近，可见，大坝的建设对植被覆盖的影响是很显著的。从 1999~2006 年，轻度变化的面积百分比合计达到了 55.6%，其中增加面积是减少面积的 2 倍，在全区都有增加，而减少主要在中下游；中度变化面积百分比合计达到了 6.9%，明显在大坝附近有所增加，而减少分布不集中；高度变化的面积百分比合计达到了 7.6%，东南条带的增加趋势依旧明显，大坝的上游有零散减少；在这个时间段内，主要在大坝附近、东南条带区域有明显增加，而减少区域并没有大范围集中。总体上，1999 年前后这两个时间段比较，前段各级减小的面积均大于后段，而各级增加的面积变化不明显，两个时间段总增加面积均大于减小面积，后段增加趋势更明显；1978 年到 2006 年这近 30 年时间里，植被覆盖度变化中，增加的面积是减少的面积面积的 2 倍，主要增加区域还是集中在东南条带和乐天溪附近，减少区域分散于大坝上游淹没区附近。

宜昌市以及三峡工程开发总公司等相关部门，对三峡大坝的建设与生态的影响十分重视，三峡工程开发总公司在 2004 年，对坝区及附近投资了 3 000 多万元进行了种树、植草工作^[13]，宜昌市在生态修复以及水土流失综合治理方面做了很多工作。对天然林保护和退耕还林工程，截止 2006 年，已完成封禁治理 10 000hm²，稀林补植 1 500hm²；此外，加大力度建设生态环境大示范区，并将开展的水土保持生态环境建设、“长治”工程、退耕还林、水土保持、农业综合开发、农业产业结构调整等项目规划布局融入大示范区实施方案，2006 年度治理水土流失区涉及太平溪、乐天溪、三斗坪、下堡坪等 7 个乡镇的 32 条小流域，共治理水土流失面积 73.8km²，完成综合防治工程面积 105.01km²，其中“长治”五期 40.1km²，生态修复 47.71km²，退耕还林、农业综合开发等 17.2km²，大示范区项目建设已初具规模^[14]。同时，夷陵区从 2001 年开始实施退耕还林工程，累计完成 1.69 万 hm²，其中退耕还林 910hm²，荒山造林 780hm²。这一系列措施对研究区植被覆盖的增加起到了促进作用，如在数据中显示的东南条带区域，位于三斗坪镇，可见生态修复效果是乐观的。

3.3 植被覆盖度的检验

为了确定植被覆盖度变化的显著性，采用统计学中的检验的方法进行检验，非参数统计是用在对总体的分布不作假设或仅作非常一般性假设条件下的统计方法^[16]，它与总体分布几乎没有什么关系，所以它的应用范围很广，K. Bruce Jones 等 (2008) 在对美国 San Pedro 河上游流域岸边带环境动态观测的研究中^[17]，采用了 Wilcoxon 秩和检验法对各期 NDV I 值进行检验，Wilcoxon 秩和检验方法是一种两个相关样本的检验方法，本文也采用这种方法借助 SPSS16.0 对各期的植被覆盖度进行了检验。

抽样是根据 2000 土地利用数据，随机选取耕地和林地的利用类型并使其均匀分布于研究区域，因其更接近于 1999 年数据，因此，对 1978、2006 年相同区域的植被覆盖度，相对于 1999 年的变化进行显著性检验，结果见表 4

表 4 各期植被覆盖度检验结果 (Wilcoxon 法和检验)

Tab 4 Two-sites Wilcoxon rank sum of vegetation fraction

		in different periods	
		Z 值	sig 值 (two-tailed)
耕地	1978~ 1999	- 6.905	0.000
	1999~ 2006	- 5.393	0.000
	1978~ 2006	- 4.081	0.000
林地	1978~ 1999	- 26.632	0.000
	1999~ 2006	- 12.512	0.000
	1978~ 2006	- 2.277	0.023

从表 4 中看出，sig 值均小于 0.05，因此，植被覆盖度的变化是显著的。

4 结语

对三峡大坝 (研究区段) 岸边带三期植被覆盖特征以及动态变化分析认为:

(1) 近 30 年，大坝岸边植被覆盖变化显著，以 1999 年为分界点，此前的 21 年，覆盖度变化整体上有减小，植被覆盖区域面积下降了 3.31km²；之后 8 年，虽面积有微弱下降，但由于蓄水淹没区面积达到了 8 km²使整体上有植被覆盖的面积有增加的趋势。

(2) 1999 年之前，在大坝附近的植被急剧减

少, 而增加的区域主要是研究区东南部的狭长带状区域, 1999年之后呈现出以大坝枢纽为中、上游因植被蓄水覆盖度明显减少, 而下游植被得以较好的恢复。

植被覆盖度是河流生态系统健康稳定的一个重要的指标, 植被覆盖度的变化特征与人类活动是紧密相关的^[18]。1994年三峡水利枢纽开工, 直接影响了三峡大坝岸边的植被覆盖状况, 而后期指定的库区的生态工程建设方案, 包括早期的中国21世纪议程——林业行动计划、生态防护林体系的建设和综合治理和开发建设等一系列措施的颁布^[19], 大坝岸边植被覆盖以及生态环境都有了明显改善。

参考文献

- [1] 杜子涛, 占玉林, 王长耀. 基于 NDVI 序列影像的植被覆盖变化研究. 遥感技术与应用, 2008, 23 (1): 47~50
- [2] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法. 北京: 科学出版社, 2003
- [3] 贾海峰, 刘雪华等. 环境遥感原理与应用. 清华大学出版社, 2006
- [4] 范小华. 三峡库区河岸带复合生态系统研究. 中国学位论文全文数据库, 2006
- [5] 杨胜天, 王雪蕾, 刘昌明, 盛浩然, 李茜. 岸边带生态系统研究进展. 环境科学学报, 2007, 27 (6): 894~905
- [6] 邵波, 方文, 王海洋. 国内外河岸带研究现状与城市河岸林带生态重建. 西南农业大学学报 (社会科学版), 2007, 5 (6): 43~46
- [7] 岳隽, 王仰麟. 国内外河岸带研究的进展与展望. 地理科学进展, 2005, 24 (5): 33~40
- [8] 孙士型, 秦承平, 居志刚. 三峡坝区气候特征分析. 中国三峡建设, 2002 (6): 22~24
- [9] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究. 中国科学院硕士学位论文, 2003
- [10] Lowrance R, Sheridan J. Managing riparian ecosystem to control non-point pollution. Journal of Soil and Water Conservation, 1985, 40 (1): 87~91
- [11] 丁建丽, 塔西甫拉提·特依拜. 基于 NDVI 的绿洲植被生态景观格局变化研究. 地理学与国土研究, 2002, 18 (1): 23~26
- [12] 袁利, 张光灿, 刘霞, 郭静. 基于 NDVI 的淄川生态修复区植被覆盖度动态研究. 山东林业科, 2008 (2): 13~15
- [13] 刘永提. 试论建立三峡坝区国家森林公园的可行性. 中国西部科技, 2004 (5): 6~8
- [14] 赵春华, 沈克芬. 坚持生态修复与重点治理结合加快水土流失综合治理步伐. 亚热带水土保持, 2006, 18 (2): 71~72
- [15] 程琼, 田开清, 张启东, 姚东艳. 三峡坝区退耕还林工程建设现状与思考. 现代农业科技, 2007, (12): 177~180
- [16] 郝黎仁, 樊元等. SPSS 实用统计分析. 北京: 中国水利水电出版社, 2002
- [17] K. Bruce Jones et al. Detecting changes in riparian habitat conditions based on patterns of greenness change: A case study from the Upper San Pedro River Basin, USA. Ecological Indicators, 2008, (8): 89~99
- [18] 陈云浩, 李晓兵, 陈晋等. 1983~1992年中国陆地植被 NDVI 演变特征的变化矢量分析. 遥感学报, 2002, 6 (1): 12~18
- [19] 周立江. 长江三峡库区及上游地区林业生态工程建设途径及对策分析. 四川林勘设计, 1998 (2): 1~11

Research on Spatial and Temporal Changes of Riparian Vegetation Cover in the Three Gorges Dam Area Based on NDVI

WANG Jingjing^{1,3}, BAI Xue^{2,3}, DENG Xiaoqi⁴, WANG Mingui⁵

(1 College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2 School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3 Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China;

4 Huaihua Environmental Protection Bureau, Huaihua 418000, China;

5 General Bureau of Environmental Monitoring of China, Beijing 100012, China)

Abstract The Three Gorges Dam Area was chosen as the study area in this paper. The destruction of the project on vegetation in the ecosystem is obvious, especially near the riparian zone. The vegetation fraction was calculated based on NDVI. Resorting to the comparisons of vegetation coverage in buffer areas along the dam area among three different phase remote sensing images of 1978, 1999 and 2006, we detected the dynamic vegetation changes before and after impoundment in September and analyzed the distribution of vegetation cover of each year as well as the areal changes through grade analysis. A nonparametric two-sided t-test, Wilcoxon rank sum test was used to evaluate significant differences between vegetation changes in different land use types between 1978 and 1999, 1999 and 2006, and 1978 and 2006. The results showed the changes are significant. The research concluded that there was a high degree of vegetation damage between 1978 and 1999, the withal drop of vegetation cover area by 3.31km^2 , but between 1999 and 2006, in the case of 8km^2 being inundated, the area of vegetation cover only dropped by 1.57km^2 , indicating an evident vegetation restoration. On the whole, during the nearly 30 years, the vegetation cover has shown an increasing trend.

Key words NDVI, vegetation fraction, Wilcoxon rank sum test, spatial and temporal changes