

文章编号: 1008-2786-(2015)1-48-10

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000007

基于 NDVI 的水电站开发对植被的影响 ——以澜沧江梯级水电站开发为例

刘世梁 安南南 董世魁 赵海迪 邓丽 赵晨

(北京师范大学环境学院 水环境模拟国家重点实验室 北京 100875)

摘 要: 基于 RS 和 GIS 技术,利用 1998—2012 年 SPOT NDVI 数据建立近 15 a 澜沧江流域 NDVI 时序数据集,在收集该流域水电站建设概况资料的基础上,利用空间分析与统计方法、最大值合成法、一元趋势方法分析流域水电站周边植被覆盖的时空变化及其与土地利用的关系。结果表明:1998—2012 年间,水电站的年最大 NDVI 值均保持在 0.78~0.92 之间;通过对比已建水电站在建设前、中、后期的年最大 NDVI 值随上下游距离梯度的变化趋势,水电站上、下游在建设前、建设中和建设后呈现出基本一致的波动变化;横向分析 NDVI 随岸边距离不同的变化情况,小湾水电站附近 10 km 范围内,随着岸边距离的增加,NDVI 值缓慢增加,建设中的 NDVI 值要低于建设前后。上述结果表明,NDVI 变化可以指示大坝建设对植被的影响。趋势分析表明,整个缓冲区内得到改善的面积占 63% 左右。Zonal Statistics 结果表明,耕地、林地、草地的 NDVI 有所增加。本研究为探索多时段态 NDVI 监测水电站效应的可能性及水电开发的生态环境保护与恢复提供了一定的科学依据。

关键词: NDVI; 澜沧江; 水电站建设; 时空变化; 趋势分析

中图分类号: X144,X2

文献标志码: A

重大水利工程在带来巨大经济、社会效益的同时,不可避免地改变周边植被状况,对当地气候特征、生态过程、土地利用产生一定程度的影响。植被是环境的重要组成因子,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^[1-2]。水利工程对当地植被的影响主要包括工程实施过程和建成后频繁的人类活动。工程实施过程对植被的影响主要包括水库拦截回水对植被的淹没、开发新的交通道路对植被的碾踏和对土地的占用以及破坏土壤表面影响植被的附着、大坝厂房建筑的施工等活动对植被造成不利影响。水利工程竣工后,人类活动改变土地利用类型进而对植被组成类型及其分布产生一定影响。

对于水电站建设影响来说,传统上主要是利用遥感影像解译分类得到土地利用方式进行分析,将不同时期主要植被覆盖类型图与主要土地利用变化

类型图叠加分析,探索不同土地利用变化类型区域的植被动态变化特征,分析土地利用变化与植被动态的响应关系^[3-5]。随着理论及应用研究的深入,利用植被指数来表征地表植被覆盖及生长状况^[6]。近几十年来,国内外学者为定量研究植被覆盖变化,从不同的角度创新和发展了植被指数。其中,归一化植被指数(The Normalized Difference Vegetation Index,NDVI)对植被盖度的检测幅度较宽,有较好的时间和空间适应性,因此应用较广^[7]。该指数综合了 EVI、DVI 和 DDVI 等算法的优点^[8],在一定程度上反映植物组成类型情况、覆盖分布情况、生物量积累情况和植被活力情况,与植被分布密度呈线性相关,是指示大尺度植被覆盖的良好指标^[9],常被用于土地利用/覆盖变化、生态环境监测以及植被动态监测等方面^[10]。

目前,基于 NDVI 时序数据源资料的研究主要

收稿日期(Received date):2013-12-14;改回日期(Accepted):2014-04-25。

基金项目(Foundation item):环保公益项目(201209029)。[Nonprofit Environment Protection Specific Project of China(No.201209029)。]

作者简介(Biography):刘世梁,男,1976 年生,博士生导师,副教授,主要从事景观生态学、GIS 与 RS 研究。[Liu Shiliang, male, born in 1976, doctoral supervisor, associate professor, mainly engaged in landscape ecology, GIS and RS.] E-mail: shiliangliu@bnu.edu.cn

集中于以下几个方面: 1. 结合 NDVI 时序数据分析植被 NDVI 的变化类型、空间分布变化特征及其年内和年际变化规律^[11]; 2. 将人类活动与植被 NDVI 变化之间建立关系是植被 NDVI 演变影响因素研究的一个热点^[12-14]。谢高地^[15]等人结合 2001—2010 年 MODIS09Q1 数据,分析平均 NDVI 值的时空变化差异及综合分析 Slope 和 Hurst 指数预测澜沧江流域植被发展趋势。水电站的建设是人类活动中对环境造成压力的主要影响之一,邹家祥^[16]等人研究了长江三峡工程对植被覆盖变化的影响,分析库区植被类型和覆盖率的变化情况并提出相关保护措施。王晶晶^[1]等人对比三峡大坝蓄水前后植被覆盖度特征、动态变化及将土地利用类型覆盖与植被变化相联系分析不同年份的植被动态变化特征。随着理论及研究的深入,NDVI 是否可作为水电站建设影响当地植被的“指示器”还未有定论。目前,基于 NDVI 数据的各项研究中涉及到水电站开发建设对周边植被产生的影响的研究仍然较少,同时,水电站上、下游不同距离梯度范围内及岸边不同梯度距离的植被变化研究也尚未开展。

本文以澜沧江中下游 8 级梯级电站为研究对象,结合多时相遥感影像资料,利用 GIS 和 RS 技术为支撑,统计植被覆盖的变化信息,定性分析水电站周边年最大 NDVI 在时间序列上的变化及横向、纵向空间梯度上植被覆盖分布差异,探讨近 15 年来水电站周边植被覆盖的变化情况,为澜沧江流域生态环境的保护恢复、评估人类活动及工程建设对植被动态的影响和资源可持续发展提供一定的基础信息,制定环境保护对策提供了一定的科学依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

澜沧江流域(21°11′~33°52′N,93°32′~101°53′E),流经青、藏和滇,是国内最长的南北流向的河流。澜沧江是一条著名的国际河流,干流长 1 216.7 km,经度差仅为 3.7°,流程 1 240 km,流域面积 $9.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,资源丰富^[17]。流域河谷区气候带包含了热带、亚热带、温带等,几乎涵括了全国主要的气候类型;多样化的气候和复杂的地理环境,形成了全球生物多样性最丰富的地区之一^[18]。澜沧江流域植被类型及其丰富,植被分布具有明显的纬度地带性与垂直地带性,并受到局地微气候和地形的影响,上游为温带高寒草甸及温带针叶林和落叶阔叶林;中游为温带、亚热带高山落叶灌丛和稀疏草原,同时伴有常绿林和湿性常绿阔叶林;下游为热带、亚热带常绿阔叶林和热带雨林以及零散的落叶季雨林^[19]。

流域沿途山高谷深,水流湍急,蕴藏着丰富的水力资源,仅在云南境内的干流就规划了 14 级梯级水电站。尤其澜沧江中、下游河段条件最为优越,被列为近期重点开发河段。自上而下分别为: 功果桥水电站、小湾水电站、漫湾水电站、大朝山水电站、糯扎渡水电站、景洪水电站、橄榄坝水电站和勐松水电站(表 1)。

研究区域是以澜沧江主河道为中心轴左右作 20 km 的带状缓冲区(图 1),参考国家 1:25 万基础地理数据,结合 1998—2012 年的 SPOT NDVI 数据分析,研究水电站建设前后 NDVI 的时空变化规律。为了方便比较水电站建设对 NDVI 的空间分布的变化,对各水电站的上、下游进行划分,由于各水电站基本位于各子流域分界线上,因此在水电站处,利用垂直于河流的垂线进行划分。

1.2 数据源

1998—2012 年的 SPOT VEGETATION 逐旬 NDVI 数据,共有 504 幅图像,空间分辨率为 1 km。本

表 1 澜沧江中下游水电站概况

Table 1 The information of hydropower stations in middle and lower reaches of Lancang River

水电站名称	施工时间	完工时间	总库容 Reservoir capacity	建设情况	位置
Station name	Construction time	Completion time	($\times 10^8 \text{ m}^3$)	Construction status	Location
功果桥水电站	2009	2012	5.10	建成	最上游一级电站
小湾水电站	2002	2010	151.32	建成	漫湾电站上游约 70 km
漫湾水电站	1986	1995	10.06	建成	云南省云县与景东县交界处的漫湾镇上游附近
大朝山水电站	1997	2003	9.40	建成	漫湾电站下游约 100 km
糯扎渡水电站	2005	2017	237.03	在建	澜沧江下游思茅市
景洪水电站	2003	2009	11.40	建成	距下游景洪市约 5 km
橄榄坝水电站	2012	2018	0.72	在建	距上游景洪市约 20 km
勐松水电站				未建	景洪市与勐腊县交界处

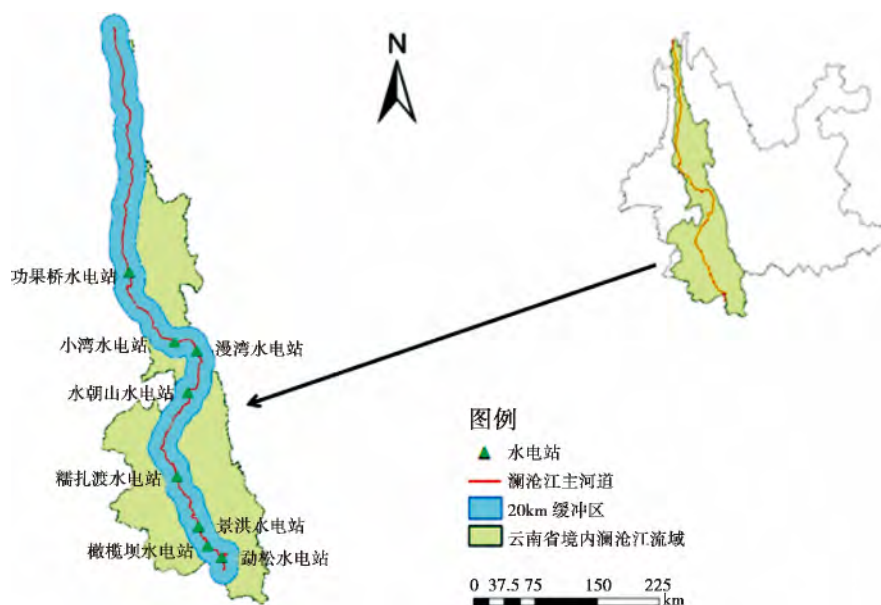


图1 研究区示意图

Fig. 1 Location of the study area

文采用年最大 NDVI 值分析, 最大化 NDVI 具有以下优势: 1. 能减少被云覆盖的像元; 2. 能够消除由于植物物候变化引起的植被反射光谱的不同, 还可以进一步降低大气和太阳高度角等因素的干扰和影响^[13]; 3. 对于时间序列的研究来说, 所关注的焦点是各年内植被覆盖最好时期的状况及其动态变化。本文借助软件 ArcGIS9.3, 利用 Spatial Analyst Tools 中的 Cell Statistics 模块中对 1998—2012 年的 SPOT 遥感影像数据年的合成, 然后采用 Zonal Statistics 模块进行年 NDVI 最大值统计。

1.3 研究方法

1.3.1 时序 NDVI 变异系数计算

利用变异系数评价植被变化的总体状况, 掌握缓冲区植被覆盖空间格局及空间分异规律。变异系数中的标准差 σ 能反映逐一栅格年最大 NDVI 值分布的离散程度, 除以多年均值 \bar{X} 可以有效地剔除地表类型差异, 这样既能评估植被多年生长过程的时序稳定性^[9], 又能确保不同像元间的时序稳定性具有可比性。本文基于过去 15 a (1998—2012) 的逐年 NDVI 最大值进行平均得到合成数据, 利用公式 (1) 逐栅格计算 1998—2012 年间的 NDVI 的变异系数来评估年最大 NDVI 的时序稳定性。计算公式为

$$C.V. = \sigma / \bar{X} \quad (1)$$

C.V. 值越大, 表明各年份之间数据分布越离散, 时间序列数据波动较大, 时序不稳定; 反之则表明各年

份之间数据分布较为集中, 时序较为稳定。

1.3.2 水电站建设的空间 NDVI 的变化

趋势线分析法通过模拟每个栅格的变化趋势, 反映不同时期植被覆盖变化的空间分布特征。本文用此方法来模拟缓冲区多年 NDVI 的变化趋势^[15], 根据研究区特征和总结前人的经验基础上, 将该区域的植被 NDVI 变化范围划分为显著减少、中度减少、轻度减少、基本不变、轻度改善、中度改善和显著改善(表 2) 等 7 个变化等级。计算公式为

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \times \sum_{j=1}^n j \times \text{NDVI}_j - \left(\sum_{j=1}^n j \right) \left(\sum_{j=1}^n \text{NDVI}_j \right)}{n \times \sum_{j=1}^n j^2 - \left(\sum_{j=1}^n j \right)^2} \quad (2)$$

式中 n 为监测时间段的年数; NDVI_j 为第 j 年 NDVI 的最大值; θ_{slope} 是趋势线的斜率, 其中 $\theta_{\text{slope}} > 0$ 则说明 NDVI 在 n 年间的变化趋势是增加的, 反之则是减少的。

2 结果分析

2.1 大坝影响下 NDVI 时间序列数据变异系数分析

研究区 1998—2012 年 NDVI 的时间序列分析(图 2) 结果显示: 从整体上看, 自上游到下游的变异系数总体上呈减小趋势, 变异系数在 25% 以上的地区主要集中在最上游地区, 大部分地区的变异系数都保持在 10% 以下。功果桥水电站的上游地区的变异系数在 5% ~ 10% 的面积占整个上游区域的

80%以上,其次是小湾水电站到糯扎渡水电站之间地区的变异系数,分布在5%~10%的面积占小湾水电站到糯扎渡水电站区域的40%左右,糯扎渡水电站下游的水电站整体的变异系数在5%以下。变异系数分布图表明研究区NDVI及其指示的植被覆盖状况在过去的15a里具有较强的稳定性。也就是,基于年最大NDVI合成方法得到的新的NDVI数据集具有很好的可利用性、可以用于进一步分析本地区NDVI的空间分布格局、空间分异等特征及规律。

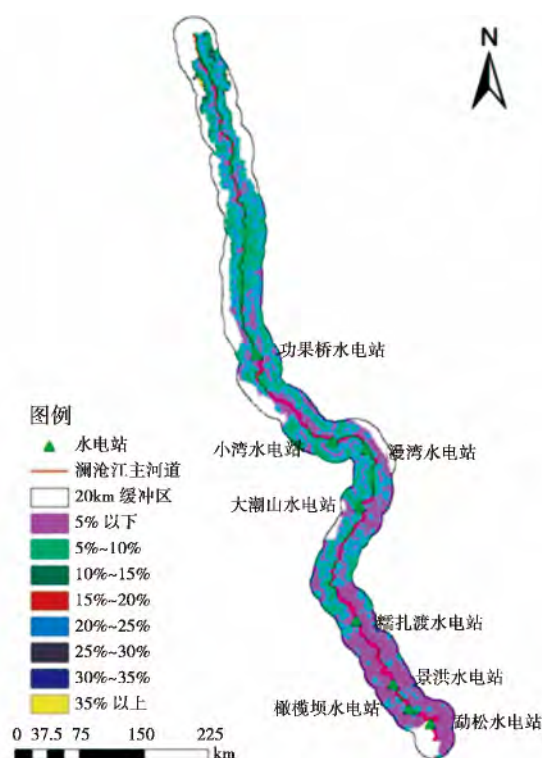


图2 研究区时间序列变异系数分布

Fig.2 Distribution of variation coefficient in study area from 1998 to 2012

1998—2012年间,流域气候特征主要包括降水和气温等都没有发生明显变化,说明其引起的气候变化还不足以对植物种类的生长产生明显的影响,可以排除自然条件对当地植被分布格局和生长势等的影响^[19]。这里植被受到的最主要影响就是人类活动,主要为大坝建设对植被的直接破坏与间接影响。

2.2 水电站上、下游年际间NDVI的动态变化

图3表明,各水电站上下游均在2001年、2002年都出现不同程度的下降变化,下降幅度较大的是功果桥水电站、漫湾水电站及大朝山水电站,变化幅度约为15%左右。主要原因是2002年小湾水电站

开始施工,施工前的准备活动(如运输道路和临时厂房的建设)对周围水电站产生一定影响,土地利用类型^[17]的改变也间接地改变研究区植被稳定性。小湾水电站位于功果桥水电站和漫湾水电站之间,小湾水电站的建设活动(拦截、蓄水等)会对其上、下游的植被生长产生一定影响。2002年之后,NDVI值波动增加,增幅较慢。

研究期间,大朝山水电站年最大NDVI变化曲线表明,1998—2002年整体呈现下降趋势,下降幅度约为13%,2002年之后上、下游分别以0.0073/a、0.0041/a的幅度缓慢增加,主要原因是大朝山水电站在2003年投入发电使用完成竣工,由建设水电站引起的人类活动干扰频度和强度都有所减缓。

1998—2012年间,景洪水电站年最大NDVI的变化曲线可分为3个阶段,第一阶段,1999—2002年上、下游年最大NDVI均显著下降;第二阶段,2002—2010年呈现不规则的波动;第三阶段,2010—2012年呈缓慢增长变化。这与景洪水电站的建设过程有很大关系,景洪水电站在2003年筹备建设,2010年投入使用,年最大NDVI值呈现出这种变化趋势和水电站的建设有一定的关系。

2.3 水电站建设前后的空间梯度NDVI的变化

梯级水电站的建设时间:在本研究时间段的水电站从上到下依次为功果桥水电站、小湾水电站、大朝山水电站和景洪水电站,所以以这4个水电站为例来对比分析水电站建设前后NDVI的变化状况及趋势。

2.3.1 水电站建设前后上下游NDVI变化

对功果桥水电站、小湾水电站和大朝山水电站和景洪水电站上、下游地区10km分区统计,分析水电站建设前、中、后NDVI随距离变化规律的差异,也就是在纵向上分析水电站建设对附近植被的影响变化。4个水电站上、下游在建设前、中、后的年最大NDVI随距离增大呈现基本一致的波动变化。功果桥水电站(图4)上游、下游在建设前、后的年最大NDVI的2条曲线大小关系的基本排序为:建设中>建设后。根据现场考察,功果桥水电站规模相对较小,而且所处位置地势较为陡峭,为深峡型水库,在建设过程中建设的开挖面不大,需要对河流进行导流,使得河流水面面积变小,对周边植被的影响较小,因此建设中的年最大NDVI值略高于建设前的值。在小湾水电站(图5)上游,建设前、中、后的年最大NDVI值的3条曲线大小关系基本排序为:建

设后 > 建设中 > 建设前; 水电站下游 3 条曲线大小基本排序为: 建设前 > 建设中 > 建设后。在 4 km 范围内, 年最大 NDVI 的波动较剧烈, 幅度也较大, 尤其是在施工过程中年最大 NDVI 的波动幅度较建设前、后剧烈; 水电站上、下游在 4 km 之外的范围随着距离的增加, 年最大 NDVI 随距离增加缓慢上升, 说明在超过 4 km 之外的地区, 植被的生长受大坝影响较小。大朝山水电站(图 6)上、下游建设中和建设后在 4 km 处出现明显下降的转折点。而且建成后的年最大 NDVI 值要高于建设过程中, 表明水电站建设过程要对库区进行蓄水形成消落带, 而且蓄水

造成的泥沙流失堆积在下游也会阻碍植被的正常生长。景洪水电站上游、下游的建设前、建设中和建设后 NDVI 值基本保持在 0.8 以上, 周边区域植被生长状况良好。从景洪水电站(图 7)上、下游变化曲线可看出, 建设前、中、后这三个时期年最大 NDVI 值基本排序为建设后 > 建设中 > 建设前。水电站周边属亚热带气候, 建设期间土地及植被遭破坏后, 次生演替发生较快, 次生植物群落的生长较快, 同时水电站建设周期长, NDVI 空间年际变化较大, 亚热带气候特征会使得 NDVI 存在一定的误差, 这就导致建设中的年最大 NDVI 值略高于建设前的值。建成

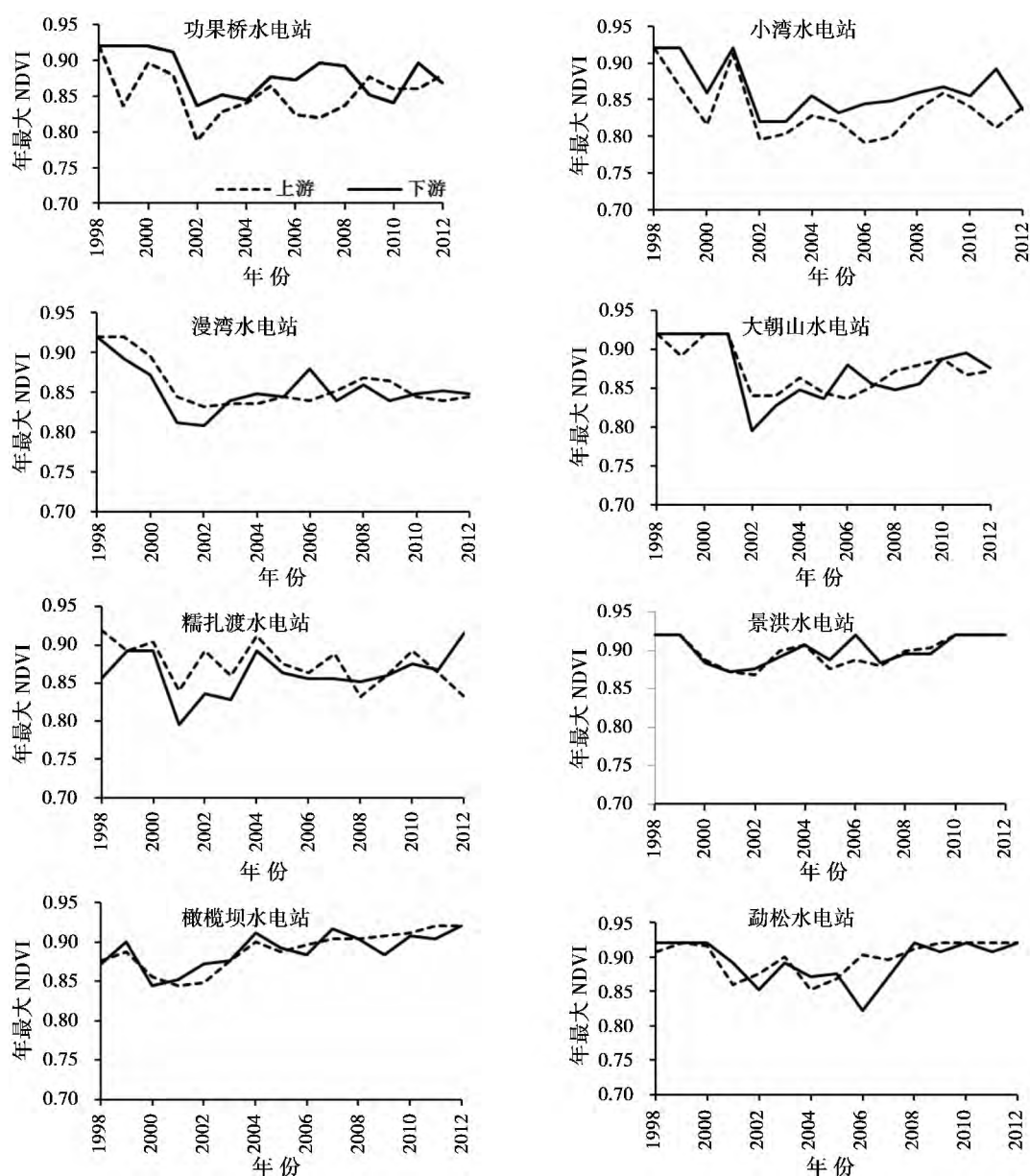


图 3 1998—2012 年水电站上下游年最大 NDVI 变化曲线

Fig. 3 The annual MAX NDVI change curves of upstream and downstream of hydropower station from 1998 to 2012

后的植被覆盖强度高于建设前和建设过程中,水电站建设会改变库区周围的小气候,增加库周降水量,有利于当地植被生长,同时,当地采取“退耕还林”,实施注重生态环境保护政策也会在一定程度上增加植被覆盖度。

总体上 4 个水电站在建设前、中、后三个时间阶段植被覆盖的变化方向各有不同,这可能与各水电站所处地、地貌及人类活动强度具有不同程度的影响有关,水电站的建设会不同程度地影响库区周边森林、农田等植被的变化。

2.3.2 水电站建设前后 NDVI 随岸边梯度的变化

4 个水电站在建设前、中、后三个时期的 NDVI 随岸边距离梯度波动变化是基本一致的。功果桥水电站(图 8a)建设前的 NDVI 值要略低于建设中,在随距离变化中,其值基本保持不变。水电站建设前的水田较多,NDVI 值原本较小,在建设中变化也不大。小湾水电站(图 8b) 10 km 范围内,NDVI 值随着岸边距离的增大而缓慢增加,建设中的 NDVI 值低于建设前后,说明建设施工活动对植被生长造成的破坏里最大。大朝山水电站(图 8c)、景洪水电站(图 8d)也可以说明这个问题,与 NDVI 在上下游梯度变化对比,NDVI 在横向梯度上的变化很缓慢。

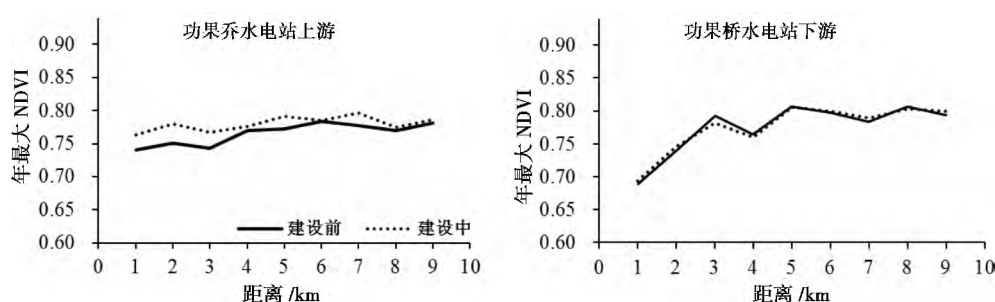


图4 功果桥水电站上、下游在建设前和建设中年最大 NDVI 随距离变化趋势

Fig. 4 The annual MAX NDVI of before ,during and after Gongguoqiao hydropower station construction changes with the distance upstream and downstream

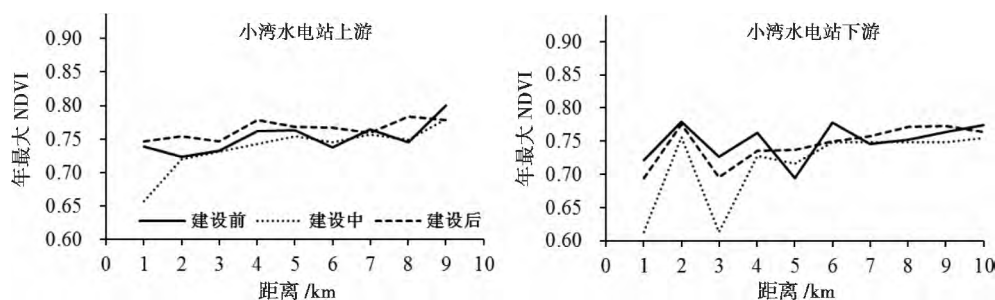


图5 小湾水电站上、下游在建设前和过程中年最大 NDVI 随距离变化趋势

Fig. 5 The annual MAX NDVI of before and during Xiaowan hydropower station construction changes with the distance upstream and downstream

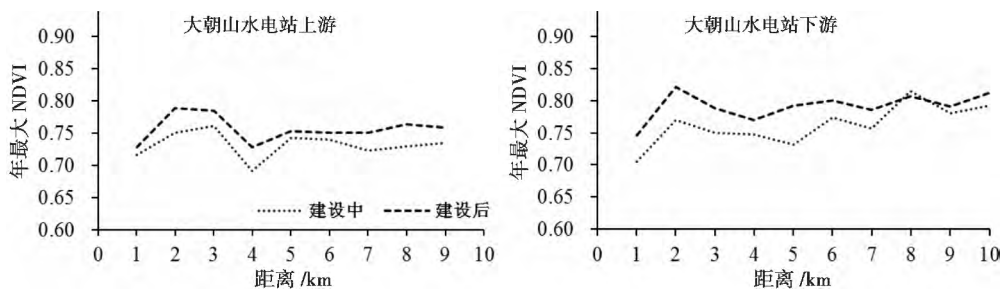


图6 大朝山水电站上游在过程中和建设后年最大 NDVI 随距离变化趋势

Fig. 6 The annual MAX NDVI of during and after Dachao Shan hydropower station construction changes with the distance upstream and downstream

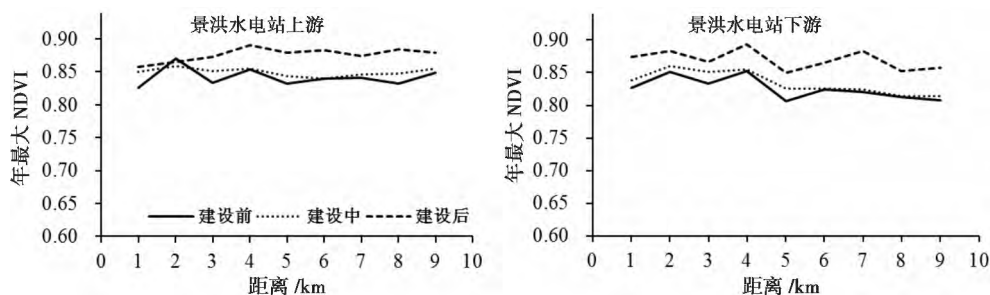


图7 景洪水电站上下游在建设前、中、后年最大 NDVI 随距离变化趋势

Fig.7 The annual MAX NDVI of before, during and after Jinghong hydropower station construction changes with the distance upstream and downstream

2.4 各水电站植被覆盖变化趋势

基于一元线性回归分析原理,借助 ArcGIS9.3 软件分析研究区时间序列 NDVI 的变化率(图9和表2)。从 MAXNDVI 趋势分析结果可看出:整个缓冲区内得到改善的面积占 63% 左右,几乎是退化面积的 1.5 倍。分别统计水电站上、下游 10 km 的区域变化率数据。结果表明,与其他水电站相比,小湾水电站、漫湾水电站和大朝山水电站的植被覆盖下降的面积达到 20% 左右,绝大多数水电站改善的面积所占面积较大,这可能与南方湿润的气候有关,植被生长本底值较高。

2.5 NDVI 与土地利用变化的关系

水电站的建设在一定程度上影响着土地利用的

变化^[20],而土地利用的变化直观地表现在 NDVI 上^[21]。按照国家土地利用图解译标准将研究区域土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地及未利用地等,得到研究区土地利用图,将 2010 年土地利用图与 1998—2010 年 NDVI 变化率相叠加,统计水电站研究区(长为 40 km,宽为 20 km)的每种土地利用类型的植被变化率(图 10)。功果桥、小湾和大朝山水电站地区的耕地、林地及草地的变化率均为正,说明这一时期,由于退耕还林、天然林保护等措施,三种土地覆盖的生态状况趋于改善,而在景洪水电站附近耕地的变化率为负,可能因为水库蓄水淹没部分农田,使耕地数量减少。在功果桥水电站附近的水域的变化率为负值,因为水库投入

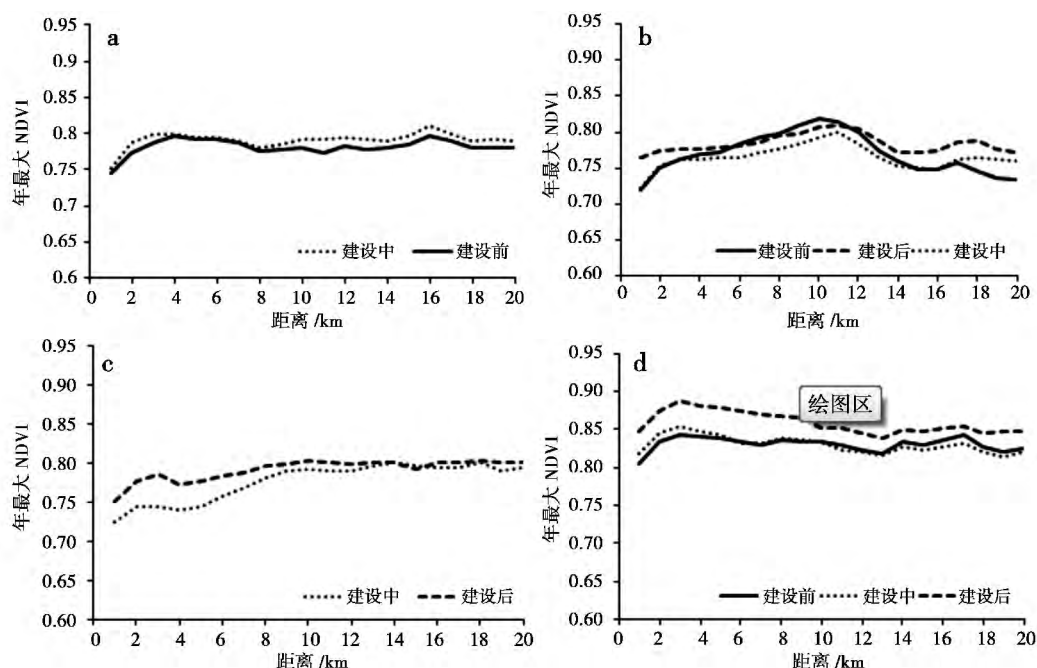


图8 水电站建设前后的年最大 NDVI 随岸边梯度变化图

Fig.8 The annual MAX NDVI of before and after hydropower stations construction changes with distances along the shore

表 2 1998—2012 年 MAXNDVI 变化趋势统计结果
Table 2 The annual MAXNDVI trend results from 1998 to 2012

分级 Classification	< -0.02	$[-0.02, -0.01]$	$[-0.01, -0.001]$	$[-0.001, 0.001]$	$[0.001, 0.01]$	$[0.01, 0.02]$	> 0.02
程度 Degree	显著降低 Significantly lower	中度降低 Moderate decrease	轻度降低 Slightly lower	轻度不变 Mild unchanged	轻度改善 Slight improvement	中度改善 Moderate improvement	显著改善 Significantly improved
栅格百分比 Percentage grid/%							
总体	0.02	0.6	17.64	18.9	49.49	13.33	0.02
功果桥水电站	0	0	18.03	21.75	46.02	14.2	0
小湾水电站	0	0.07	21.79	24.14	48.33	5.67	0
漫湾水电站	0	0.18	21.35	22.05	48.16	8.26	0
大朝山水电站	0	0	20.28	22.6	50.05	7.07	0
糯扎渡水电站	0	0.51	9.36	14.97	64.45	10.71	0
景洪水电站	0	0	11.05	26.97	57.4	4.58	0
橄榄坝水电站	0	0.13	15.71	8.04	50.24	25.7	0.18
勐松水电站	0	0	8.08	14.63	55.56	21.73	0

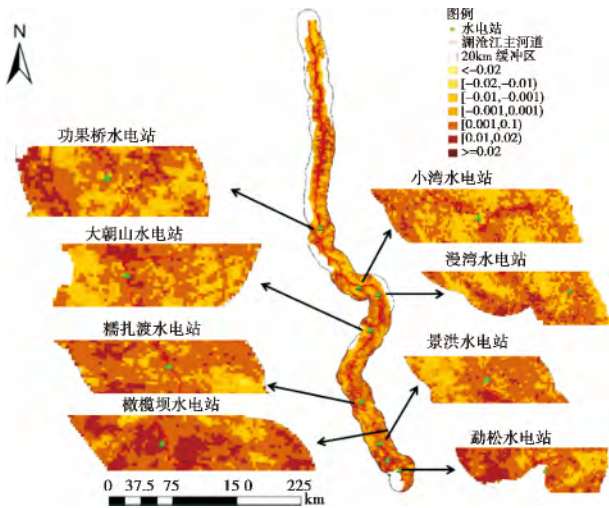


图 9 1998—2012 年年最大 NDVI 变化趋势
Fig. 9 The change trend of MAX NDVI variation from 1998 to 2012

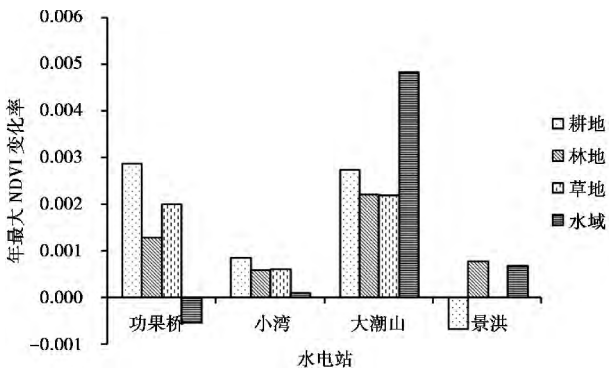


图 10 不同土地利用类型的 NDVI 变化率
Fig. 10 The NDVI change rate of different land use types

使用后,水库的蓄水放水等人为活动会对水中浮游藻类等植物的生长附着产生负面影响,影响植被的正常生长。

3 结论

本文采用最大值合成法、分区统计、趋势分析等研究方法,利用 SPOT 数据计算获得 1998—2012 年 NDVI 时序数据集,对 8 级梯级水电站植被覆盖变化进行时间空间分析,得到以下结论:

1. 1998—2012 年,大部分研究区域时间序列的变异系数在 10% 以下,表明研究区域及其指示的植被覆盖在过去的 15 a 具有较强的时序稳定性和良好的可利用性。
2. 从时间上分析,各水电站的年最大 NDVI 值均保持在 0.78 ~ 0.92 之间。尤其在功果桥水电站,小湾水电站、漫湾水电站和景洪水电站在建设前出现显著下降趋势,建成后呈现缓慢上升现象,在一定程度上说明,水电站的建设对当地植被覆盖度和分布特征产生影响。
3. 从空间上分析,在纵向变化上进行分析,水电站上、下游在建设前、建设中和建设后随距离变化表现基本一致的变化趋势,建设中的 NDVI 值大部分要小于建设前、后期,在小湾水电站和大朝山水电站下游变化图上可看出在 4 km 范围内,年最大 NDVI 的波动剧烈;在横向变化上,小湾水电站附近,在 10 km 范围内,随着岸边距离的增加,NDVI 值缓慢增

加,建设中的 NDVI 值要低于建设前后。

4. 在 1998—2012 年间研究区流域的植被覆盖整体呈现出轻微改善的趋势,整个缓冲区内得到改善的面积占 63% 左右。分别统计分析水电站上下游 10 km 的区域,结果表明,小湾水电站、漫湾水电站和大朝山水电站的植被覆盖降低面积达到 20% 左右。

植被变化的监测是一个长期的动态过程,利用 NDVI 监测水电站建设对附近植被变化有着极其重要的意义^[7]。水电站完工后,对库区进行合理的生态环境保护规划,有效做好库区的植被恢复工作,降低人类活动对周边环境的干扰。本文采用低分辨率的 SPOT 影像,可能会对研究结果有一定影响,土地利用划分方法及研究尺度对 NDVI 有一定的影响。因此,用人工实地监测或分辨率更高的遥感数据来分析人类建设活动对植被覆盖分布特征及时空的变化规律,对研究区植被覆盖演变趋势进行具体的分析将是进一步研究的重要方向。

参考文献(References)

- [1] Wang Jingjing, Bai Xue, Deng Xiaoqun, et al. Research on spatial and temporal changes of riparian vegetation cover in Three Gorges Dam area based on NDVI [J]. *Geo-information Science*, 2008, 10 (6): 6808–6815 [王晶晶,白雪,邓晓曲,等. 基于 NDVI 的三峡大坝岸边植被时空特征分析[J]. *地球信息科学*, 2008, 10 (6): 6808–6815]
- [2] Luo Ya, Xu Jianhua, Yue Wenzhe. Research on vegetation indices based on the remote sensing images [J]. *Ecologic Science*, 2005, 24(1): 75–79 [罗亚,徐建华,岳文泽. 基于遥感影像的植被指数研究方法述评[J]. *生态科学*, 2005, 24(1): 75–79]
- [3] Wang Haijie. An analysis on terrestrial eco-environment Impact based on RS and GIS of hydropower cascade development which is on the upper reaches of Hanjiang [D]. Xi'an: Northwest University, Shanxi, 2012. [王海杰. 基于 RS/GIS 的水电梯级开发对汉江上游陆生生态环境影响研究[D]. 西安: 西北大学, 2012.]
- [4] He Shangli, Du Fan, Zeng Hui, et al. Impact of hydropower development in Yunnan on ecological environment—taking the construction of dayingjiang four cascades hydropower stations as an example [J]. *Journal of Southwest Forestry College*, 2008, 28(4): 80–83 [赫尚丽,杜凡,曾辉,等. 云南水电开发对生态环境的影响—以大盈江四级水电站建设为例[J]. *西南林学院学报*, 2008, 28(4): 80–83]
- [5] Liang Yaoqin, Zeng Hui, Lli Jing, et al. Influence of land use change on vegetation cover dynamics in Dapeng Peninsula of Shenzhen, Guangdong province of south China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(1): 199–205 [梁尧钦,曾辉,李菁,等. 深圳市大鹏半岛土地利用变化对植被覆盖动态的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(1): 199–205]
- [6] Fu Sitao, Zhou Yun. The normalized difference vegetation index algorithm based on remote sensing image [J]. *Surveying and Mapping of Jingxi province* 2010 (3): 31–32 [符思涛,周云. 基于遥感影像的归一化植被指数算法研究[J]. *江西测绘*, 2010 (3): 31–32]
- [7] Wang Qiang, Zhang Bo, Dai Shengpei, et al. Dynamic changes in vegetation coverage in the Three – North Shelter Forest program based on GIMMSAVHRR NDVI [J]. *Resources Science*, 2011, 33 (8): 1613–1620 [王强,张勃,戴声佩,等. 基于 GIMMSAVHRR-NDVI 数据的三北防护林工程区植被覆盖动态变化[J]. *资源科学*, 2011, 33 (8): 1613–1620]
- [8] Yan Zhenglong, Huang Qiang, Niu Baoru, et al. Effects of emergent water project on vegetation coverage in the lower reaches of Tarim River [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 621–626 [闫正龙,黄强,牛宝茹,等. 应急输水工程对塔里木河下游地区植被覆盖度的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19 (3): 621–626]
- [9] Zhang Xueyang, Xu Xinliang. NDVI of the Mongolian plateau responding to climate from 1982 to 2003 [G]// The Chinese Society of Natural Resources. Taking the advantages of resources and guaranteeing the Western development innovately – The Chinese Society of Natural Resources in 2011 academic essays (part ii). Urumqi, 2011: 590–599 [张雪艳,徐新良. 1982–2003 年蒙古高原 NDVI 对气候变化的响应研究[G]//中国自然资源学会. 发挥资源科技优势 保障西部创新发展——中国自然资源学会 2011 年学术年会论文集(下册). 乌鲁木齐 2011: 590–599]
- [10] Li Tianhong, Han Peng. Land use/ cover change detection and analysis with remote sensing in Xiamen city [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(6): 537–543 [李天宏,韩鹏. 厦门市土地利用/覆盖动态变化的遥感检测与分析[J]. *地理科学*, 2001, 21 (6): 537–543]
- [11] Zhang Sishi, Du Xiaochu. Spatio-temporal variation regularity of vegetation in Three Gorges reservoir area based on NDVI [J]. *Journal of Hubei University: Natural Science*, 2012, 34(3): 317–319, 354 [张思诗,杜晓初. 基于 NDVI 的三峡库区植被时空变化规律研究[J]. *湖北大学学报: 自然科学版*, 2012, 34 (3): 317–319, 354]
- [12] Wei Shi, Zhang Hui. Temporal and spatial variation of NDVI in Liaohu He Basin [J]. *Northern Environment*. 2012, 28(6): 103–107 [韦石,张慧. 辽河流域 NDVI 时空变化特征[J]. *北方环境*, 2012, 28(6): 103–107]
- [13] Han Guifeng. Spatio-temporal change of vegetation cover in east China and influence of artificial factors [D]. Shanghai: East China Normal University, 2007. [韩贵锋. 中国东部地区植被覆盖的时空变化及其人为因素的影响研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.]
- [14] Cui Xiaolin, Bai Hongying, Shang Xiaoping. The vegetation dynamic in Qinling area based on MODIS NDVI [J]. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2012, 42(6): 1021–1026 [崔晓临,白红英,尚小清. 基于 MODIS NDVI 的秦岭地区植被覆盖变化研究[J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2012, 42(6): 1021–1026]

- [15] Fan Na, Xie Gaodi, Zhang Changshun et al. Spatial-temporal dynamic changes of vegetation cover in Lancang River Basin during 2001—2010 [J]. *Resources Science*, 2012, 34(7): 1222–1231 [范娜, 谢高地, 张昌顺. 2001 年至 2010 年澜沧江流域植被覆盖动态变化分析 [J]. *资源科学*, 2012, 34(7): 1222–1231]
- [16] Zhou Jianxiang, Jin Yixin. Impacts of Three Gorges project on vegetation and its protective measures [J]. *Water Resources Protection*, 1985 (1): 67–72 [邹家祥, 金义欣. 长江三峡工程对植被的影响及其保护措施 [J]. *水资源保护*, 1985 (1): 67–72]
- [17] Wang Juan, Cui Baoshan, Liu Jie, et al. Spatio-temporal dynamic study on landscape patterns in Lancang River watershed of Yunnan Province [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(2): 269–277 [王娟, 崔保山, 刘杰, 等. 云南澜沧江流域土地利用及其变化对景观生态风险的影响 [J]. *环境科学学报*, 2008, 28(2): 269–277]
- [18] He Yunling, Zhang Yiping. The climate characteristics and change trends on basins of Lancangjiang Valley in Yunnan Province [J]. *Mountain Research*, 2004, 2(5): 539–548 [何云玲, 张一平. 澜沧江干流河谷盆地气候特征及变化趋势 [J]. *山地学报*, 2004, 2(5): 539–548]
- [19] Li Yafei, Liu Gaohuan. Characteristics of vegetation cover changes in Lancang basin based on MODIS vegetation index products (MOD13) [J]. *Resources Science*, 2012, 34(7): 1214–1221 [李亚飞, 刘高焕. 澜沧江流域植被覆盖变化特征及其与气候因子的关系 [J]. *资源科学*, 2012, 34(7): 1214–1221]
- [20] Zhao Qinghe, Liu Shiliang, Deng Li, et al. Determining the influencing distance of dam construction and reservoir impoundment on land use: a case study of Manwan Dam, Lancang River [J]. *Ecological Engineering*, 2013, 53: 235–242
- [21] Yan Lihong. Research ecological evolution of Lijiang basin based on multi-scale NDVI and LUCC [J]. Beijing: China University of Geoscience, 2012. [颜丽虹. 基于多尺度 NDVI 和 LUCC 的漓江流域生态演变研究 [D]. 北京: 中国地质大学, 2012.]

The Effects of Hydropower Stations Construction on Vegetation Dynamics Based on NDVI:

A Case Study of Cascade Hydropower Stations of Lancang River

LIU Shiliang, AN Nannan, DONG Shikui, ZHAO Haidi, DENG Li, ZHAO Chen

(State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Based on RS and GIS technology, SPOT NDVI data from 1998 to 2012 was used to construct NDVI time series dataset of the Lancang River basin, this paper analyzed the spatio-temporal variation of vegetation cover by using the spatial analysis, statistical methods, MVC (Maximum Value Composites) methods and trend method and relationships between NDVI and land use changes. The results showed that: timely, the annual MAX NDVI of each hydropower station was maintained between 0.78 and 0.92; spatially, through the comparison of dynamics of the annual MAX NDVI upstream and downstream before construction, during construction and after construction, the outcomes showed that the three curves had the same changing trend; according to variation of MAX NDVI with different distances along the shore, MAX NDVI which was near from Xiaowan hydropower station about 10 km increased slowly with distance along the shore, MAX NDVI which is during the construction of the hydropower station lower than before it, results above can show that the hydropower stations construction influenced on the local vegetation tempestuously. In this buffer, the improved areas were accounted for about 63%. Zonal Statistics showed that the NDVI of land, forest land and grassland has increased. This study provided the scientific basis with exploring the possibilities of using NDVI to monitor effect of hydropower stations construction and protection and resumption of ecological environment caused by hydropower stations construction.

Key words: NDVI; Lancang River; hydropower stations construction; spatio-temporal variation; trend analysis