

近 10 年重庆市归一化植被指数变化分析

李惠敏^{1,3}, 刘洪斌^{1,3}, 武 伟^{2,3}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 西南大学计算机与信息技术学院, 重庆 400716;

3. 重庆市数字农业重点实验室, 重庆 400716)

摘要: 运用 1 km 分辨率经过 Savitzky-Golay 滤波技术平滑处理的 SPOT/VGT 数据, 通过对 1998~2007 年的归一化植被指数 (NDVI) 时间序列数据、NDVI 与气象因子的关系、10 a 来 NDVI 变化率的空间分布以及 NDVI 与海拔高度的关系等进行分析, 研究重庆市植被变化及空间分布情况。结果表明, 重庆市 NDVI 年变化相对稳定, 在空间上变化较大, 东北及东南部分地区植被退化, 而西部地区 NDVI 变化率增加, 表明植被覆盖有所增多。另外引起 NDVI 时空变化的原因中, 温度远大于降水量, 海拔高度也与 NDVI 有较好的相关性。

关 键 词: 重庆市; NDVI 时间序列; 变化率

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2010)01-0119-05

重庆市地形条件复杂多变, 生态系统脆弱^[1]。植被作为陆地生态系统重要组成部分, 是生态系统中物质循环与能量流动中枢^[2], 也是对人类社会经济活动有重要贡献的资源。所以研究植被变化对研究重庆市生态系统有意义。

植被指数是对地表植被覆盖和生长情况的一种反映, 通过植被指数可以评价植被覆盖、生长状况和生物量等。植被指数的发展大致经历了三个阶段, 可以近似地以三类植被指数加以描述。第一类是基于波段的线性组合 (差或和) 或原始波段的比值; 第二类大都基于物理知识; 第三类是针对高光谱遥感及热红外遥感而发展的植被指数。归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 属于第二类植被指数, 公式如下:

$$N_{NDVI} = (R_{IR} - R_R) / (R_{IR} + R_R) \quad (1)$$

式中, R_{IR} 为近红外波段的地表反射率, R_R 为可见光红波段的地表反射率。NDVI 比值限定在 (-1, 1) 范围内, 在一定程度上有助于减少外界因素, 如太阳高度角、大气状态带来的误差^[3], 能够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^[4], 因此被广泛应用于植被的监测^[5-6]、农作物长势监测^[7]、产量预测^[8], 生态环境监测^[9]、修复^[10]以及土地覆盖变化^[11-12]等方面。本文应用 1998~2007 年 SPOT/VGT 数据, 通

过对 NDVI 时间序列及多年来 NDVI 变化率研究, 以达到对重庆市植被覆盖变化的监测。

1 研究区概况

重庆市位于 105°17'~110°11'E, 28°10'~32°13'N 之间的青藏高原与长江中下游平原的过渡地带, 辖区东西长 470 km, 幅员面积 82 430 km²。属中亚热带湿润季风气候区。地处四川盆地东南缘, 地貌组合差异大, 地域内河流纵横交错, 构成以山地、丘陵为主的地形形态, 植被丰富, 覆盖率高。

2 材料与方法

本研究使用重庆市 1998~2007 年 1 km 空间分辨率的 SPOT-VGTS10 数据, 1:10 万数字地形图, 2000~2003 年重庆市各气候站点的气温、降水量数据及 1:10 万数字高程模型。

2.1 数据来源

SPOT/VGT 数据是特为大区域土地覆盖制图和植被监测设计, 有数据配准精度高、几何畸变小、大气纠正能力强等特点。本研究所选用实验数据是 SPOT/Vegetation 亚洲地区从 1998 年 4 月到 2007 年 12 月底逐旬的 S10 产品, 包括 NDV (Vegetation Global Index) 和 SM (status map) 两组数据。其中, NDV 数据 DN (Digital Number) 值 (D_{DN}) 与归

收稿日期: 2009-04-24 修订日期: 2009-07-12

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2009BAD41B03) 资助。

作者简介: 李惠敏 (1984-), 女, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 从事遥感与地理信息系统研究。E-mail: grape_4509229@yaho.com.cn

通讯作者: 武 伟, 副教授。E-mail: wuwel_star@163.com

一化植被指数 $NDVI$ (N_{NDVI})数值关系如下:

$$N_{NDVI} = 0.004 \times D_{DN} - 0.1 \tag{2}$$

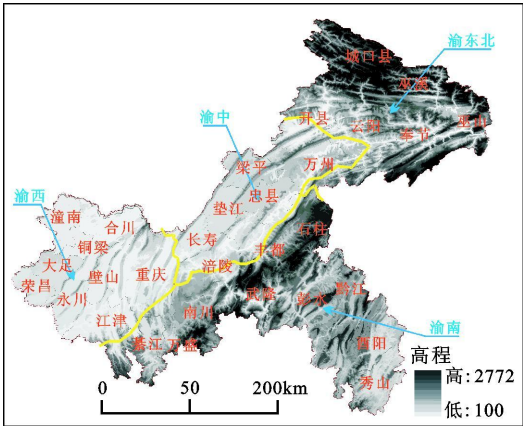


图 1 重庆市分区图
Fig 1 Region alization of Chongqing

2 2 数据处理

本研究数据预处理工作包括几何配准、投影变换、图形切割等。由于 $NDVI$ 数据内还存在云等原因造成的数据缺失, 本文利用 Savitzky–Golay 滤波平滑工具对 SPOT–VGT $NDVI$ 的旬时间序列数据进行平滑去噪处理。Savitzky–Golay 滤波是一种最小二乘卷积拟合方法用来平滑和计算一组相邻值或光谱值导数。 $NDVI$ 时序数据平滑方法:

$$Y_j^* = \frac{\sum_{i=-m}^{i=m} C_i Y_{j+i}}{N} \tag{3}$$

其中, Y 是指 $NDVI$ 的原始值, Y^* 是 $NDVI$ 的拟合值, C_i 是第 i 个 $NDVI$ 值滤波时的系数, N 是指卷积的数目, 也等于滑动数组的宽度 ($2m+1$)。系数 j 指原 $NDVI$ 数组的系数。滑动数组包含有 ($2m+1$) 个点。 C_i 可以通过 Steiner 等 (1972) 对 Savitzky 和 Golay 工作修正后的方法得到。图 2 为 1999 年 36 旬 $NDVI$ 数据序列的平滑效果。由此可见, Savitzky–Golay 滤波平滑可有效去除云对 $NDVI$ 的影响^[13] 且能够最大程度地接近 $NDVI$ 数据的上包络线, 并通过一个迭代过程得出更接近真实值的 $NDVI$ 变化曲线^[14 15]。

3 结果与讨论

3 1 时间序列年变化特征

根据重庆种植业分布, 将重庆市划分为渝东北、渝南、渝中和渝西 4 个区 (图 1)。对同一年内

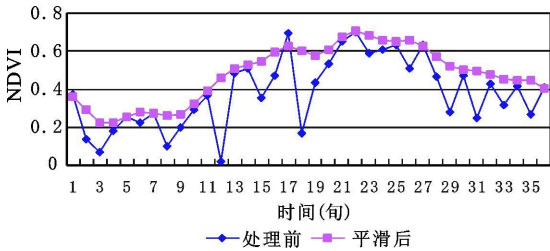


图 2 Savitzky–Golay 滤波前后 $NDVI$
Fig 2 Contrast between $NDVI$ data and smoothed data by Savitzky–Golay filter

各旬的 $NDVI$ 取平均值, 得到当年重庆市各分区平均 $NDVI$ (图 3)。从图中可以清楚的看到, 在 1998 年 4 月至 2007 年 12 月时间段内, 年平均 $NDVI$ 总体上呈现波浪式的发展趋势。各分区 $NDVI$ 的变化趋势基本保持一致, 各分区 $NDVI$ 值表现为: 渝东北 > 渝南 > 渝中 > 渝西。但总体来说, 年平均 $NDVI$ 值基本都保持在 0.41~0.58 之间, 表明 $NDVI$ 具有相对稳定性。

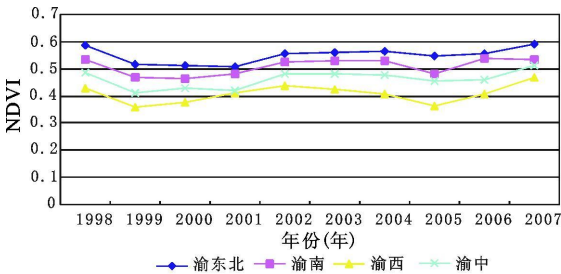


图 3 $NDVI$ 值年变化曲线
Fig 3 Curve of annual $NDVI$ change

3 2 各年时间序列特征

取 1998~2007 年各旬 $NDVI$ 值, 得到重庆市各分区年 $NDVI$ 值变化曲线 (图 4)。从图中可以看到各分区 $NDVI$ 值在年内各旬变化情况大体上是相同的, 1~12 月份都要经历先上升后下降的过程, 并且在 8 月份达到最大值, 1 月份为最小值。这种变化趋势各年各分区之间都是相近的, 具有周期性, 但周期内的变化曲线有时也会出现波动。其中渝东北地区各年 $NDVI$ 值变化趋势较其它各区更为相近, 而其它各区年际变化差异性较大, 虽然趋势大致相同, 但是异常值较多, 如渝中地区 1999 年 3 月、2007 年 12 月, 比其它年份同时期的 $NDVI$ 值偏低。但在 2002 年 3 月、2006 年 10 月又比其它年份同时期的 $NDVI$ 值偏高。图中 $NDVI$ 的年变化

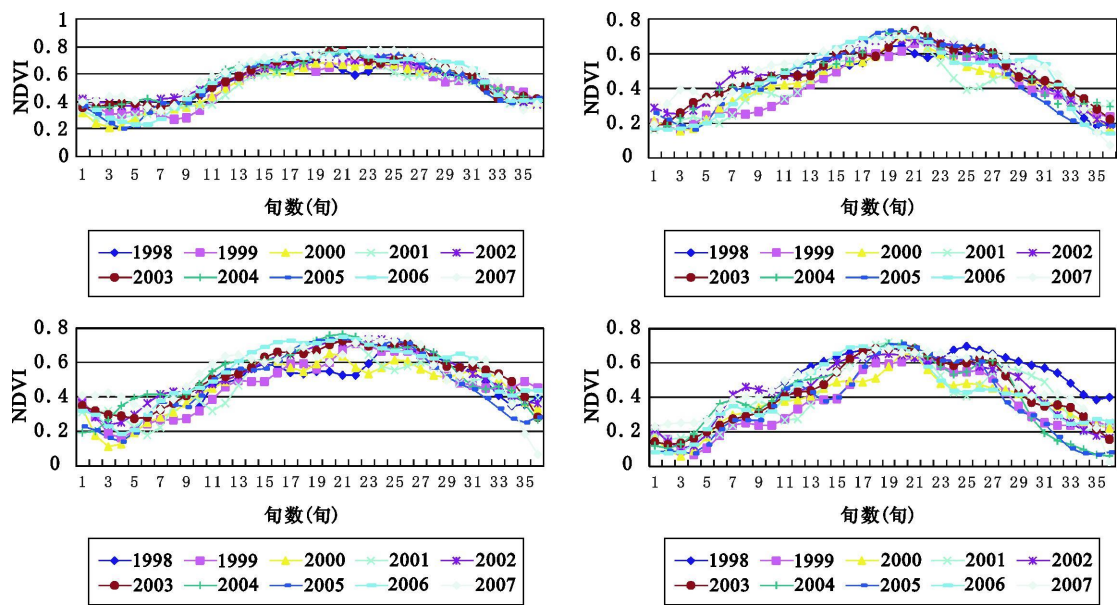


图 4 1998~2007 年重庆市各分区 NDVI 时间序列

Fig 4 Time serial of NDVI in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing from 1998 to 2007

趋势在一定程度上反应了植被的年际及季节变化这一特点。也说明运用 NDVI 来研究植被的覆盖变化具有一定的可行性与准确性。

3.3 重庆市 NDVI 与气象因子的关系

1) 各区县 NDVI 与气象因子的关系。植被覆盖的年际变化主要是由于气候的波动以及人类活动所引起的^[16-17]。为了解重庆市 NDVI 变化的原因, 本文主要研究气温、降水量对 NDVI 的影响。根据重庆市气象站提供的方位号可将重庆分为 5 区, 本研究选取了东北部的云阳站, 中部的涪陵站, 西北部的合川站, 西南部的永川站, 东南部的秀山站。分析各站点的平均 NDVI 与同期降水量、平均气温之间的相互关系 (表 1)。

表 1 各研究地 2000~2002 年各旬 NDVI 与同期降水量、平均气温的关系

Table 1 Relationship of NDVI with precipitation, mean air temperature in different study areas in 2000-2002

研究地	NDVI 与降水	NDVI 与气温
	量的相关性 (R^2)	的相关性 (R^2)
云阳	0.1545	0.7849
涪陵	0.2672	0.8136
合川	0.2334	0.8415
永川	0.2221	0.8411
秀山	0.152	0.8043

从表中可以看出, NDVI 与降水量、平均气温

都呈正相关性。但 NDVI 与降水量的相关远不如与平均气温的相关显著。这说明, 在重庆市对 NDVI 影响的主要因素是温度。

2) NDVI 在气候方面的现势性。根据数据及前人研究显示, 2006 年重庆市发生了严重的旱情。在旱情最严重的 8 月中下旬, 重庆各区县中潼南县的旱情最为严重。现将各年 8 月中下旬潼南县 NDVI 做一对比 (表 2)。以此对 NDVI 在气候方面的现势性进行研究。

表 2 潼南县 1998~2007 年 8 月中、下旬 NDVI 值

Table 2 NDVI data in August in Tongnan County from 1998 to 2007 by Savitzky-Golay filter

年份 (年)	8 月中旬	8 月下旬	平均值
1998	0.608345	0.584656	0.5965005
1999	0.592678	0.549019	0.5708485
2000	0.522141	0.487249	0.504695
2001	0.55399	0.467691	0.5108405
2002	0.624927	0.6099	0.6174135
2003	0.607318	0.607773	0.6075455
2004	0.528309	0.476647	0.502478
2005	0.570802	0.558331	0.5645665
2006	0.484044	0.408916	0.44648
2007	0.64817	0.626711	0.6374405

表 2 显示了潼南县 1998~2007 年 8 月中、下旬 NDVI 值中, 2006 年较同期各年份的 NDVI 值最小, 并比同期 NDVI 平均值减少了 24.5%。这说

明,根据 NDV I值的变化情况可以推断出 2006年 8月中下旬潼南县发生了特大旱情。

3 4 重庆市植被覆盖变化的空间分布特征

1) 重庆市 NDV I年际变化率的空间分布。为了解过去 10 a重庆市植被覆盖的空间变化情况,分别计算了 1998、2007 年平均 NDV I以此来代表和反映 10 a来重庆市植被覆盖状况。并用 2007 年的图像减去 1998 年的图像并被 1998 年的图像除,得到重庆市 NDV I变化率分布 (图 5)。

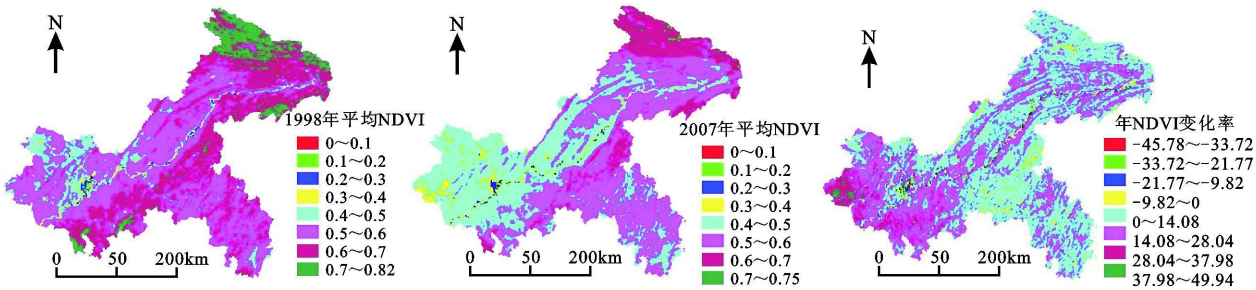


图 5 重庆市 1998 年 (a)和 2007 年 (b)平均年 NDV I和年 NDV I变化率 (c)的空间分布
Fig 5 Spatial distribution of annualNDV I in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing

以增大为主。东北部与渝南大多数地区 NDV I以增大为主,最大增幅达到 28%。渝西地区 NDV I值有明显的增加,部分地区增幅达到 28% ~ 49%。

2) 重庆市植被覆盖的空间分布。以上研究表明NDV 年变化存在空间差异性。为更深入了解 NDV I的空间分布情况,我们对 NDV I与数字高程模型 (Digital Elevation Model DEM) 的相关性做研究。采用 1:10 万 DEM 进行采样,随机选取 106 个采样点对其进行 NDV I与高程值的相关性分析。

图 6可看出 NDV I与 DEM 有较好相关性。海拔越高 NDV I值越大,植被覆盖越密集。另据土地利用现状情况表明,林地集中的东北及东南海拔较高川东平行岭和武陵山区一带 NDV I值也较高。因此,NDV I空间分布与海拔高度成正相关。

4 结 论

运用 Savitzky-Golay滤波技术,可有效地去除 NDV I数据中的云、气溶胶及异常值的影响,NDV I时序数据经过滤波平滑后,能更好地反映植被覆盖情况,为研究重庆市植被覆盖变化奠定了基础。

本文综合运用 1998~ 2007 年的 NDV I数据,分别从年变化、月变化、年际空间变化的角度分析

从 1998 和 2007 年 2 a 的 NDV I分布可以看出: ① 1998 年和 2007 年重庆市 NDV I都呈现从东北向西南递减趋势。东北部数值较大,NDV I值普遍在 0.5 以上;西部的较小,NDV I值普遍在 0.3~0.6 之间。在西部腹地一带 NDV I较小,甚至达到了 0.2 以下。长江以南沿岸 NDV I值相对较高,在 0.5~0.8 之间; ② 与 1998 年相比,2007 年重庆市除西南腹地外,其它地区的 NDV I值均高于 1998 年; ③ 据年 NDV 变化率分布图显示,重庆市整体

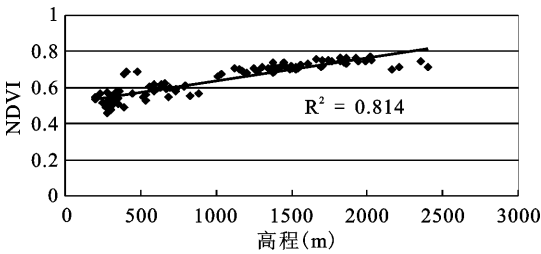


图 6 2007 年平均 NDV I与 DEM 的关系
Fig 6 Relationship between average NDV I and DEM in 2007

了 NDV I的时间序列特征、NDV I与气象因子的关系以及 NDV I变化率的空间分布、NDV I与 DEM 的相关性分析等。主要得出以下结论:

1) 重庆市 NDV I年均值和各年 NDV I值表现较强的稳定性。年均 NDV I起伏较小,基本保持稳定状态,不同年际间略有增减。4 个分区各年份 NDV I值大小趋势基本保持一致。根据 NDV I值排序表现为:渝东北>渝南>渝中>渝西。各年 NDV I表现出周期性 (以年为周期):在 1 个周期之内,1~12 月份经历先上升后下降过程,在 1 和 8 月分别为谷值和峰值,有明显的季节性。

2) NDV I与降水量、平均气温均有较好的相关性。但 NDV I与平均气温相关性远远大于与降

水量的相关性。以相关性为依据,对植被覆盖变化的影响程度平均气温大于降水量。

3) 10 a来重庆市 NDV I变化在空间上存在很大差异。整体 NDV I有所上升,但西南腹地等地区 NDV I值下降。

4) NDV I与海拔高度有较好的相关性。海拔越高, NDV I值越大, 植被覆盖量越大。这与重庆本地气候、地形及土地利用情况都有一定关系。

参考文献:

[1] 王天巍, 史志华, 李朝霞, 等. 基于多源数据的重庆市乐天溪流域林地植被覆盖动态监测 [J]. 应用生态学报, 2007, **18** (11): 2533 ~ 2539

[2] 第宝锋, 杨国忠, 艾南山, 等. 基于 RS 与 GS 的金沙江干热河谷区退化生态系统评价——以云南省元谋县为例 [J]. 地理科学, 2005, **25** (4): 484 ~ 489.

[3] 向波, 缪启龙. 青藏高原气候变化与植被指数的关系研究 [J]. 四川气象, 2001, **21** (1): 29 ~ 36.

[4] 杜子涛, 占玉林. 基于 NDV I 序列影像的植被覆盖变化研究 [J]. 遥感技术与应用, 2008, **23** (1): 47 ~ 50

[5] 张友水, 谢元礼. MOD IS 影像的 NDV I 和 LSW I 植被水分含量估算 [J]. 地理科学, 2008, **28** (1): 72 ~ 76

[6] 刘传胜, 张万昌, 雍斌. 基于两种新型景观指数的张掖绿洲植被格局动态研究 [J]. 地理科学, 2008, **28** (1): 59 ~ 65.

[7] 吴炳方, 张峰, 刘成林, 等. 农作物长势综合遥感监测方法

[J]. 遥感学报, 2004, **8** (6): 498 ~ 514.

[8] 张峰, 吴炳方, 罗治敏, 等. 美国冬小麦产量遥感预测方法 [J]. 遥感学报, 2004, **8** (6): 611 ~ 617.

[9] Luciano Telesca Rosa Lasaponara Quantifying intra - annual persistent behaviour in SPOT - VEGETATION NDV I data for Mediterranean ecosystems of southern Italy [J]. Remote Sensing of Environment 2006, **101**: 95 ~ 103

[10] 卓莉, 曹鑫, 锡林郭勒草原生态恢复工程效果的评价 [J]. 地理学报, 2007, **62** (5): 471 ~ 480.

[11] LI Yuechen Land cover dynamic changes in northern China 1989 - 2003 [J]. Journal of Geographical Sciences 2008, **18** 85 - 94

[12] 曾永年, 向南平, 冯兆东, 等. Albedo - NDV I 特征空间及沙漠化遥感监测指数研究 [J]. 地理科学, 2006, **26** (1): 75 ~ 81

[13] 顾娟, 李新. NDV I 时间序列数据集重建方法述评 [J]. 遥感技术与应用, 2006, **21** (4): 391 ~ 395.

[14] Chen J, Jonsson P, Tamun M, et al A simplified method based on the Savitzky - Golay filter Remote Sens Environ, 2004, **91**: 332 - 344

[15] Savitzky A, Golay M J E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures [J]. Anal Chem, 1964, **36**: 1627 - 1639

[16] 朱晓禧, 方修琦, 王媛. 基于遥感的黑龙江省西部水稻、玉米种植范围对温度变化的响应 [J]. 地理科学, 2008, **28** (1): 66 ~ 71.

[17] 李小明, 赵宏丽, 闫敏华. 东北三江平原全新世火演化及其与植被和气候的关系 [J]. 地理科学, 2005, **25** (2): 177 ~ 182

Vegetation Change in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing

LI Huimin^{1,3}, LU Hongbin^{1,3}, WU Wei^{2,3}

(1 School of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400716; 2 School of Computer and Information Science, Southwest University, Chongqing 400716; 3 Key Laboratory of Digital Agriculture of Chongqing, Chongqing 400716)

Abstract The article researched the vegetation changes in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing through analysing the time series of NDV I data in 1998 - 2007, the relationship of the NDV I with meteorological factors, the change rate of NDV I and the relationship between NDV I and altitude by using the 1 km SPOT /VGT - NDV I data smoothed by Savitzky - Golay filter. The results show that the annual NDV I variation in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing is relatively stable, while it decreases in the northeastern and southeastern areas and increases in the western area. Furthermore, the spatial and temporal changes of NDV I are mainly caused by temperature and precipitation. The temperature plays a more important role than precipitation in NDV I's change, the altitude and NDV I also has a better correlation.

Key words The Three Gorges Reservoir Area, NDV I, time series, rate of change