

## 贵州省乌江流域植被覆盖动态变化分析<sup>\*</sup>

王秀春<sup>1</sup>, 黄秋昊<sup>1,2</sup>, 蔡运龙<sup>1</sup>

(1. 北京大学 城市与环境学院 100871; 2. Center for International Earth Science Information Network, Columbia University, New York 10964, USA)

**摘要:** 植被覆盖动态变化是土地资源和环境变化研究的重要内容。本文基于长时间序列的 SPOT/NDVI 数据, 通过研究乌江流域植被覆盖变化的总体特征、空间格局的变化趋势和程度、不同植被覆盖与 NDVI 的相互关系, 分析了乌江流域 1998–2006 年期间的植被覆盖动态变化。研究结果显示: (1) 乌江流域植被覆盖在近 10 a 内总体呈现改善和增加的趋势, 年均增长率约为 0.009/a, 特别是流域的西南地区(水城县东北部、六枝特区北部和普定县)植被覆盖增长趋势和增加程度都特别显著, 仅局部区域(东北部地区、遵义市和贵阳市周边地区)的植被覆盖呈退化和减少趋势; (2) 乌江流域的森林和灌木林地植被覆盖较为稳定, 而草地和耕地的植被覆盖生长却相对差异较大。上述结论为乌江流域土地资源管理和生态修复提供了参考依据。

**关键词:** 植被覆盖; SPOT/NDVI; 乌江流域

中图分类号: X171

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)05-0015-03

## Assessment of Vegetative Land Cover Change Using AVHRR/NDVI and SPOT/NDVI Data in Wujiang River Basin, Southwest China

WANG Xiur chun<sup>1</sup>, HUANG Qiur hao<sup>1,2</sup>, CAI Yur long<sup>1</sup>

(1. College of Urban & Environmental Sciences, Center for Land Study, Peking University, Laboratory for Earth Surface Processes, the Ministry of Education, Beijing 100871, China; 2. Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University, New York 10964, USA)

**Abstract:** Monitoring and assessing vegetative land cover change is important to resources management and environmental change study. This paper, using the 1 km SPOT Normalized Difference Vegetation Index (SPOT/NDVI) (1998–2006) data in growing seasons (April–September), assessed the vegetative land cover change in Wujiang River Basin (WRB), Southwest China from 1998 to 2006. The final results demonstrate that vegetative land cover show slight trend of amelioration in general during the past years, while in some areas (Guiyang, Zunyi) vegetative land cover degrade or decrease because of over grazing/farming or urbanization. Cropland and grassland are also found easily degraded than forest and shrubs in this area. All these finding may serve as a strong basis for decision making in regard to land resource management and environmental rehabilitation.

**Key words:** vegetative land covers; SPOT/NDVI; Wujiang River Basin

植被覆盖作为地球表层的自然状态, 是全球环境变化中许多自然、生态过程的一个重要变量<sup>[1,2]</sup>。植被覆盖及其变化也是维持自然生物圈循环(包括大气排放和水文过程)的众多物质和能量流的“源”和“汇”<sup>[3-5]</sup>。因此国际上诸多全球变化研究计划, 如“全球变化与陆地生态系统”(GCTE)、“土地利用/覆被变化”(LUCC)及“全球土地计划”(GLP)等纷纷将其作为一个重要研究对象<sup>[1,6]</sup>。

20 世纪 70 年代以来, 随着对地观测技术的发展, 遥感技术手段广泛应用于植被覆盖变化研究。其中植被指数是卫星遥感中应用最广泛的指标之一, 它利用植被叶绿素在 0.69 μm

处的强吸收, 通过红外与近红外波段的组合, 实现对植被信息状态的表达。在众多的植被指数中最为常用的是归一化植被指数(NDVI)。它能够敏感地反映出植被生长状况、生物物理化学性质及生态系统参数的变化, 在一定程度上反映像元所对应区域的植被和土地覆盖类型的综合情况, 因此 NDVI 常被直接或间接用于研究植被覆盖变化研究<sup>[7-9]</sup>。

从全国尺度来看, 1982–1999 年间中国大部分区域的 NDVI 都呈现不同程度的上升趋势, 表明植被覆盖增加<sup>[10]</sup>。其中一些典型区域, 如北方地区(包括西北)、黄河流域植被覆盖状况总体一直处于增加趋势<sup>[11-13]</sup>, 但珠江流域植被退化

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-02-18

基金项目: 国家自然科学基金重点基金项目(40335046); 国家留学基金(2007U01097)

作者简介: 王秀春(1979–), 女, 山东威海人, 博士研究生, 主要从事土地科学方向的研究工作。E-mail: xchwang@pku.edu.cn

趋势比较明显,仅局部地区有所好转<sup>[14]</sup>。

在中国大部分地区植被活动呈现增强的背景下,西南喀斯特山区的植被覆盖到底是在增强还是退化,是一个值得研究的问题。喀斯特环境是一种脆弱的生态环境,不仅成土慢、土被不连续、土层浅薄、土壤蓄水性差、地表干燥,对植被生长不利,而且在外部条件作用下生态系统很容易发生逆向演替。因此研究该地区的植被覆盖变化过程对喀斯特地区社会经济发展具有重要意义<sup>[15]</sup>。过去的近 30 多年,随着社会经济的高速发展,城市的快速扩张,该地区的土地利用/土地覆盖较先前发生了很大的变化。一方面随着国家“退耕还林、还草”等及相关政策的实施,整体自然环境得到了不断的改善;另一方面,由于地处喀斯特生态脆弱地带,日益加剧的人类活动对自然的影响加剧了石漠化的扩张以及水土流失,进一步造成了植被退化。王冰等<sup>[15]</sup>以 8 km 的 AVHRR/NDVI 数据,研究了位于西南喀斯特山区的贵州省 1982–1999 年间植被覆盖变化,结论认为贵州喀斯特地区的植被覆盖在此期间总体处于上升趋势。

该文在前人研究的基础上,以位于贵州省境内的乌江流域为研究对象,应用 1 km 空间分辨率的 SPOT/NDVI 遥感数据,研究该流域 1998–2006 年间的植被覆盖动态变化,通过研究乌江流域植被覆盖变化的总体特征、空间格局的变化趋势和程度、不同植被覆盖与 NDVI 的相互关系,旨在揭示近 10 a 来喀斯特的植被覆盖变化趋势,变化速率和变化程度的空间格局以及具体哪些植被覆盖变化较大,为喀斯特山区的土地资源和生态环境研究提供参考。

1 研究区域

乌江流域位于中国西南喀斯特区的核心部位,西起云贵高原东部,东抵湘西山地丘陵,横贯贵州西部、中部和东北部及四川东部,其范围包括贵州、云南、四川、湖北 4 省 12 个地区,流域面积为 8.79 万 km<sup>2</sup>。本文研究区所界定的贵州省乌江流域,系由 ArcInfo 8.0 软件,据贵州省 90 m 空间分辨率的 DEM 自动生成,流域面积为 4.98 万 km<sup>2</sup>,约占贵州总面积的 52%。流域包括贵阳市、遵义市、安顺市、毕节地区、铜仁地区、黔南州等 8 个地区(市、自治州)在内的 37 个县市辖区见附图 1。因生成流域时,仅包含了流域边界县市的部分面积,故与通常所认为的贵州境内的乌江流域面积略有出入。

流域受西南高原山地温暖湿润亚热带季风气候和复杂的自然环境的影响,植被分布特点之一是具有较为明显的过渡性,表现为:地带性植被由东部湿润常绿阔叶林向西部半湿润常绿阔叶林过渡,针叶林由东部的马尾松向西部的云南松林过渡;另外一个特点是植被的垂直分布规律明显。乌江流域山地海拔高,相对高差较大,随着地势的升高,导致热量与水分的重新分配,因而从山麓到山顶形成不同的气候、土壤环境,使不同高度的山地发育不同类型的植被。

2 数据与方法

2.1 研究数据

2.1.1 NDVI 数据

选用由比利时佛莱芒技术研究所(Flemish Institute for Technological Research)提供的 1998–2006 年的植被生长

季(4 月 1 日–9 月 31 日)逐旬最大化合成 NDVI(<http://free.vgt.vito.be/>),空间分辨率为 1 km。上述各期 NDVI 数据均通过国际通用的可以进一步消除云、大气、太阳高度角等部分干扰的最大合成(Maximum value composite, MVC)法获得<sup>[16]</sup>。

2.1.2 植被覆盖数据

植被覆盖数据由全球土地覆盖数据库(GLCF, <http://glcf.umd.edu/index.shtml>)中提取。全球土地覆盖数据库是以 1992 年、1993 年 2 期的 AVHRR 数据为基础合成的<sup>[17]</sup>,本文用该植被覆盖数据进行乌江流域 1998–2006 年间不同植被的 NDVI 相关统计分析。虽然这期间土地覆被类型可能发生变化,但是如果植被指数增加,认为是原植被覆盖得到改善;如果植被指数减少,则认为该植被覆盖退化或减少。文中乌江流域的土地覆盖主要类型被分为常绿针叶林、常绿/落叶阔叶林、常绿/落叶灌木林、草地、耕地、水域、建设用地和未利用土地,见附图 2。

2.2 研究方法

通过计算与植被覆盖变化相关的 2 个指数来进行分析。第 1 个指数是 NDVI 空间栅格逐年变化的斜率 Slope(公式 1),通过 1998–2006 年间 9 a 的 NDVI 空间栅格数据,计算各栅格的 NDVI 发展趋势,进而判别植被覆盖变化情况。式中,INDVI<sub>i</sub>是第 *i* 年的 NDVI, *n* 则是实际计算的总年数(*n*=9)。

$$Slope = \frac{n \sum_{i=1}^n i \cdot INDVI_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n INDVI_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

第 2 个指数是 1998–2006 年间后一年与前一年变化的 INDVI 空间变化比例的累积总和百分比 *Perchange*(公式 2)。它反映了 INDVI 空间变化的多少程度。其中,INDVI<sub>i</sub>是前一年,INDVI<sub>i+1</sub>是后一年。由于 (INDVI<sub>i+1</sub>–INDVI<sub>i</sub>) 的差值未取绝对值,因此,如果某栅格的 *Perchange* 是负值,则说明该栅格内的植被覆盖多年总体是减少的。第 1,2 个指数通过的空间格局分布图,从变化速度、变化程度 2 个不同方面揭示了植被覆盖变化的特征。

$$Perchange = \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{INDVI_{i+1} - INDVI_i}{INDVI_i} \right) \times 100\% \quad (2)$$

3 结果与讨论

3.1 乌江流域植被覆盖变化的总体分析

附图 3 是 1998–2005 年相邻 2 个年份 NDVI 平均值合成图。从图中可直观地看出,乌江流域的植被覆盖除局部地区有退化或减少的变化外,整体呈不断改善的趋势。图 1 则是 1998–2006 年间平均 NDVI 值的一元线性回归拟合。拟合图表明,流域内的植被覆盖指数呈无显著波动的缓慢增长,年均增长率约为 0.009/a (*R*<sup>2</sup>=0.87; *n*=9, *p*<0.005)。

3.2 植被覆盖变化趋势的空间格局分析

附图 4 是 1998–2006 年间植被覆盖变化趋势(Slope)的空间格局图(图中括号内的是各级别所占的乌江流域的面积百分比)。它从空间角度定量描述了植被增加/减少的速率。附图 4 左上角小图显示,整个流域的植被覆盖增长率呈正态分布。流域内大部分地区的植被呈现增加趋势(增长率

为 0 ~ 0.015 的地区总面积约占整个流域的 91%)。附图 3 主图显示,增长特别快的地区(增长率> 0.002)主要集中在流域的西南地区(水城县东北部、六枝特区北部和普定县)。而植被呈现减少或退化趋势的地区主要是流域内的遵义市区、遵义县和以省会贵阳市为中心的地区。

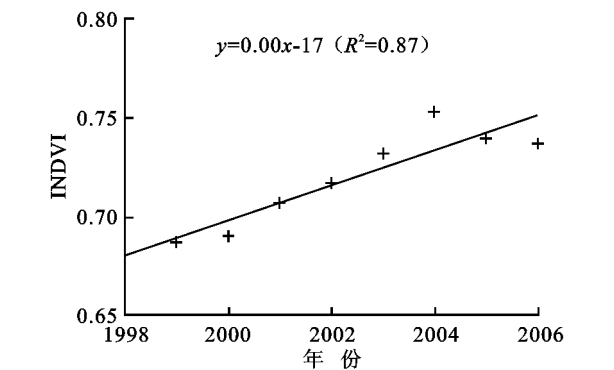


图 1 乌江流域 1998– 2006 年植被覆盖指数的一元线性拟合

3.3 植被覆盖变化程度的空间格局分析

附图 5 是 1998– 2006 年间后一年与前一年变化的 IN

DVI 空间变化比例的累积总和和百分比(即 *Perchange*, 图中括号内的是各级别所占的乌江流域的面积百分比)。从图中可知, 约占 96% 的地区累积总和是增长的(*Perchange*> 0), 揭示该部分地区植被覆盖总量增加。其中累积增加比重较大的地区(*Perchange*> 3) 主要集中在西南部的黔西县、纳雍县、普定县和织金县, 中部的余庆县和东北部的沿河县等地区。而遵义市、金沙县以及贵阳中心市区等地的累积总和百分比为负值, 说明该地区的植被覆盖多年来总量上是减少的。这一结果与前面得出的上述地区多年植被覆盖呈减少趋势也是相符的。

3.4 不同植被覆盖的 NDVI 统计分析

表 1 是 1998– 2006 年间不同植被覆盖类型的变化速率和变化程度统计。需要指出的是: 表中常绿针叶林的植被覆盖平均变化速率和平均变化程度是 5 类植被覆盖中最低的, 表明常绿针叶林覆被在这近 10 a 里变化不明显。常绿/ 落叶阔叶林的平均变化速率为最大值, 显示了该类植被生长速度较其他几类植被快。而草地和耕地这 2 类植被是集中了植被覆盖变化速率和变化程度极值(最大、小值)的地类, 说明乌江流域内这 2 类植被的变化差异较大。

表 1 乌江流域不同植被覆盖类型的 NDVI 统计表

| 植被覆盖类型    | 植被覆盖变化速率 |         |        | 植被覆盖变化程度 |         |        |
|-----------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
|           | 最大值      | 最小值     | 平均值    | 最大值      | 最小值     | 平均值    |
| 常绿针叶林     | 0.018    | 0.000   | 0.0081 | 2.356    | - 0.191 | 0.8857 |
| 常绿/ 落叶阔叶林 | 0.022    | 0.002   | 0.0090 | 3.497    | - 0.050 | 0.9701 |
| 常绿/ 落叶灌木林 | 0.028    | - 0.014 | 0.0087 | 4.374    | - 2.488 | 1.1022 |
| 草地        | 0.029    | - 0.029 | 0.0087 | 5.340    | - 3.812 | 1.2231 |
| 耕地        | 0.027    | - 0.027 | 0.0088 | 4.922    | - 3.560 | 1.1784 |

3.5 讨论

乌江流域的植被覆盖整体上是不断增加的,特别是流域的西南地区(水城县东北部、六枝特区北部和普定县)植被覆盖增长趋势和增加程度都特别显著。该区域在六、七十年代曾经是贵州省内水土流失较为严重的地区。改革开放之后,“长防林”、“珠防林”、“世防林”、农业综合开发以及天然林保护等工程的相继实施,使该地区的造林面积、森林蓄积和森林覆盖率都有了大幅度提高,生态环境也得到了较大改善,极大地推动了植被覆盖建设的步伐。

而流域内的贵阳市、遵义市周边地区,植被覆盖却都呈现减少或退化趋势。主要是近十多年来城市的快速蔓延与扩张、人口的迅速增长导致的耕地扩张等,造成了该地区土地资源的不合理利用,如大量草地和森林被开垦,而城市周边的耕地则被占用成了建设用地,地表植被退化现象严重。

研究中还发现,流域内的耕地和草地的植被变化差异最明显,这是因为喀斯特山区,耕地和草地涵养水土的能力较森林和灌木林弱,而表层土较为单薄,一旦表层土流失,水土流失就进一步加剧,导致了“恶性循环”。此外,这 2 类植被对外界的抵抗恢复不如森林和灌木林地。相比较而言,森林和灌木林的生长较为稳定。

3.6 研究的不足

本文利用由遥感卫星影像生成的 NDVI 数据评价植被覆盖变化,因此 NDVI 数据的质量是影响最后结果的最重要因素。但实际中,存在 2 个和 NDVI 数据相关,影响最后结果的因素。一方面,虽然 NDVI 值已经过适当处理(如大气辐射矫正等),仍无法忽略由于传感器的定位误差和老化导致的整个传感系统的细微偏差;其次,影响 NDVI 数据的很多因素,包括土地质量(土壤湿度、土壤含水率等)和气候因素(气温、降水和蒸发)。有时 NDVI 的变化是由极端气候波动(洪水或干旱)造成的,而非植被覆盖变化本身<sup>[17]</sup>。本文未就这些外部因素展开讨论。

4 结论

(1) 乌江流域的植被覆盖在近 15 a 内总体呈现改善和增加的趋势,年均增长率约为 0.009/a,特别是流域的西南地区(水城县东北部、六枝特区北部和普定县)植被覆盖增长趋势和增加程度都特别显著,仅局部区域(遵义市和贵阳市周边地区)的植被覆盖呈退化和减少趋势;(2) 乌江流域的森林和灌木林地植被覆盖生长较为稳定,而草地和耕地的植被覆盖生长却相对差异较大。

4 结论与讨论

晚更新世全球气候变化经历了一个完整的间冰期-冰期旋回。125~75 kaBP 是一个气候温暖时期, 当时世界各地的平均气温比现在要高出 2~3℃<sup>[6]</sup>, 地质学上将这一时期称为末次间冰期。受间冰期气候的影响, 来自孟加拉湾的印度洋暖湿气流加强, 区域内降水丰沛, 加之受前期构造运动及寒冻风化作用的影响, 积累了大量的碎屑物质, 因此这一时期小江流域的泥石流活动异常活跃, 在小江沿岸到处均能见到这一时期泥石流活动的沉积物。沉积物中的化学成分和孢粉组合特征也反映出了这一时期温暖湿润的气候环境。

75~10 kaBP 属末次冰期阶段, 以夏季风降水为主的小江流域, 冰期时受蒙古冷高压影响, 来自印度洋及北太平洋的暖湿气流萎缩, 降水量大大减少, 泥石流活动规模也相对减弱, 泥石流流体中的孢粉组合对末次冰期阶段的气候波动有较明显的反映。

晚更新世小江流域的泥石流活动规律表明, 泥石流活动与气候波动有很好的对应关系, 气候温暖, 降水增多, 泥石流活动加强; 气候寒冷, 降水减少, 泥石流活动减弱。因此, 未

来的气候变暖, 不稳定天气出现频率的增多, 将会带来本区泥石流灾害发生频率增高, 活动范围扩大的发展趋势。

参考文献:

[1]

中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理·地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 301-312.

[2]

田连全, 康志成, 张有富, 等. 泥石流及其综合治理[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-332.

[3]

李永化, 张小咏, 崔之久, 等. 第四纪泥石流活动期与气候期的阶段性耦合过程[J]. 第四纪研究, 2002(4): 340-348.

[4]

吴积善, 康志成, 田连全, 等. 云南蒋家沟泥石流观测研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 1-251.

[5]

李吉均, 况明生. 小江流域第四纪沉积物的 ESR 年代、山原红壤发育年龄与地层划分的研究[C]//“八五”攀登计划青藏高原项目. 1995 年学术年会论文集. 兰州: 兰州大学出版社, 1995: 64-78.

[6]

黄春长. 环境变迁[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 85-116.

[8]

Tucker C J, Townshend J R G. African land cover classification using satellite data[J]. Science, 1985, 227: 369-375.

[9]

Townshend J R G. Global data sets for land applications from the advanced very high resolution radiometer: an introduction[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(17): 3319-3332.

[10]

朴世龙, 方精云, 郭庆华. 1982-1999 年我国植被净第一性生产力及其时空变化[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2001, 37(4): 563-569.

[11]

李月臣, 宫鹏, 刘春霞, 等. 北方 13 省 1982 年~1999 年植被变化及其与气候因子的关系[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 109-117.

[12]

李珍存, 马明国, 张峰, 等. 1982~2003 年中国西北地区植被动态变化格局分析[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(4): 332-337.

[13]

杨胜天, 刘昌明, 孙睿. 近 20 年来黄河流域植被覆盖变化分析[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 679-684.

[14]

王兆礼, 陈晓宏, 李艳. 珠江流域植被覆盖时空变化分析[J]. 生态科学, 2006, 25(4): 303-307.

[15]

王冰, 杨胜天. 基于 NOAA/AVHRR 的贵州喀斯特地区植被覆盖变化研究[J]. 中国岩溶, 2006, 25(2): 157-162.

[16]

Holben B N. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1986, 7: 417-434.

[17]

Lambin E F, Linderman M. Time Series of Remote Sensing Data for Land Change Science[J]. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 2006, 44(7): 1926-1928.

[1]

Turner II B L, Skole D L, Sanderson S, et al. Land use and land cover change. Science/Research Plan[R]. IGBP Report No. 35 & HDP Report No. 7. Stockholm: IGBP, 1995.

[2]

Hansen M C, Defries R S, Townshend J R G, et al. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21: 1331-1364.

[3]

BAHC. Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle (BAHC): The Operational Plan[R]. IGBP Report No. 27. Berlin: BAHC Core Project Office, 1993.

[4]

Holligan P M, de Boois H. Land Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ)[R]. IGBP Report No. 25. Stockholm: International Geosphere Biosphere Programme, 1993.

[5]

Matson P A, Ojima D S. Terrestrial Biosphere Exchange with Global Atmospheric Chemistry[R]. IGBP Report No. 13. Stockholm: International Geosphere Biosphere Programme, 1990.

[6]

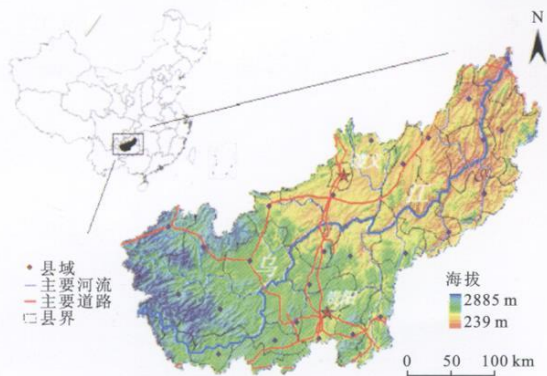
Ojima D S, Moran E F, McConnell W, et al. Global Land Project: Science Plan and Implementation Strategy[R]. IGBP Report No. 53/ IHDP Report No. 19. Stockholm: IGBP Secretariat, 2005.

[7]

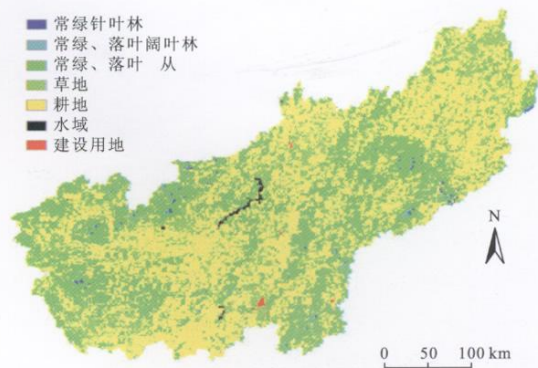
Cihlar J, Ly H, Xiao Q. Land cover classification with AVHRR multichannel composites in northern environments[J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 58(1): 36-51.

(上接第 17 页)

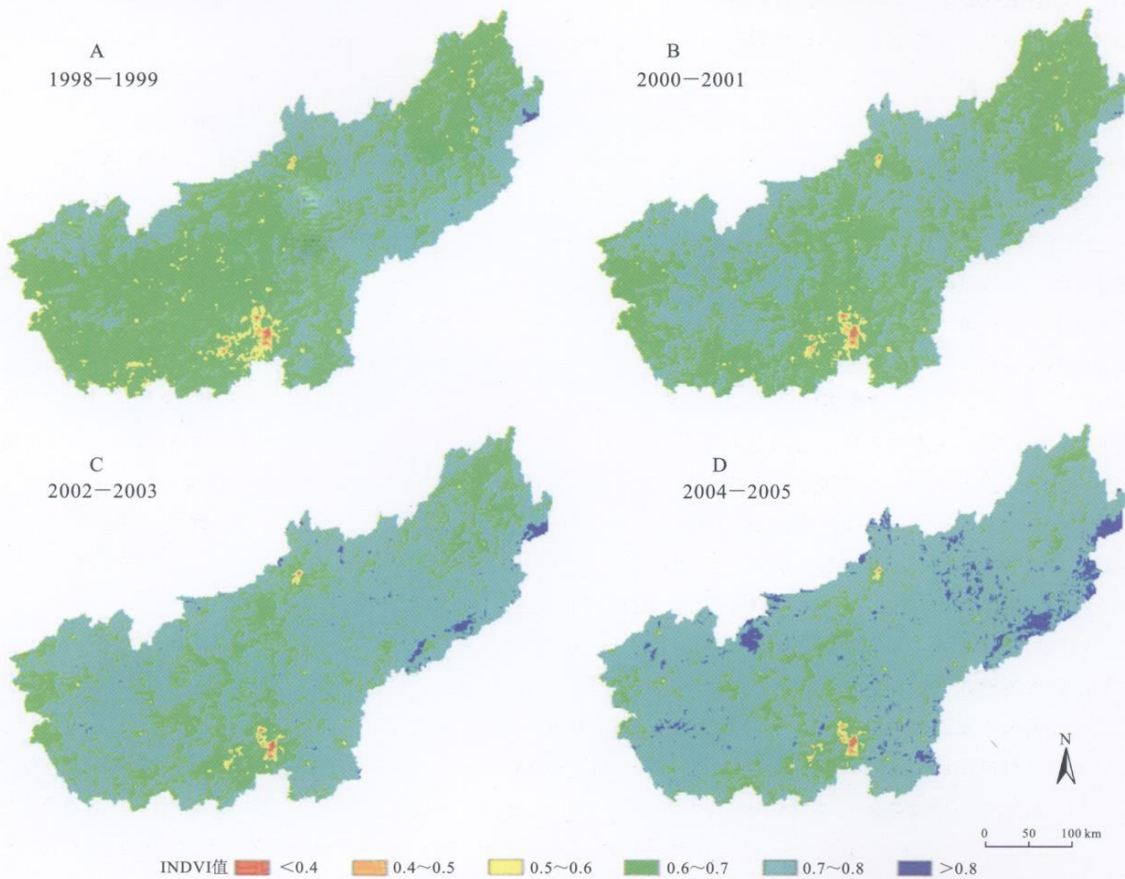
参考文献:



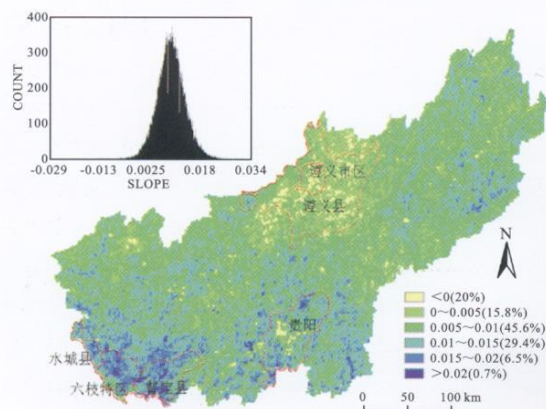
附图1 贵州省乌江流域区位图



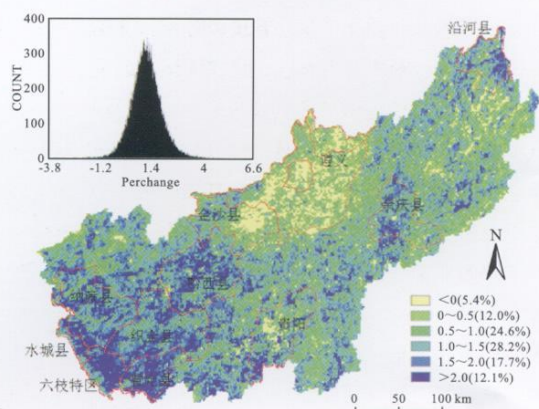
附图2 贵州省乌江流域植被分布图



附图3 乌江流域1998-2005年相邻年份NDVI平均值合成图



附图4 1998-2006年乌江流域植被覆盖增长/减少趋势的空间格局



附图5 1992-2006年间乌江流域植被覆盖增长/减少程度的空间格局