

# 水土流失遥感调查中植被信息提取与评价指标讨论

聂勇<sup>1,2</sup>, 范建容<sup>1</sup>, 贺秀斌<sup>1</sup>, 杨阿强<sup>1,2</sup>, 田兵伟<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 简要介绍了水土流失遥感调查植被因子提取的方法。采用植被指数像元二分模型的方法, 以重庆市开县为试验区, 证明该方法提取植被覆盖度的结果较理想。结合重庆市最新的水土流失遥感调查, 指出了该次调查中存在的不足, 并提出了有关建议。同时对水土流失遥感调查的评价指标进行了讨论。

**关键词:** 遥感; GIS; 植被

文献标识码: B

文章编号: 1000—288X(2007)04—0010—05

中图分类号: S157, X835

## Discussion on Vegetation Information Extraction and Evaluation Indexes in Soil and Water Loss Investigation by Remote Sensing

NIE Yong<sup>1,2</sup>, FAN Jian-rong<sup>1</sup>, HE Xiu-bin<sup>1</sup>, YANG A-qiang<sup>1,2</sup>, TIAN Bing-wei<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** To prevent soil and water loss, remote sensing and GIS are often applied to soil and water loss investigation. This paper summarizes the techniques estimating vegetation factor by remote sensing in soil and water loss investigation. Vegetation fractional cover is estimated from NDVI using the dimidiate pixel model, by taking Kaixian County of Chongqing City for an example. Better results have been achieved using the technique. By combining the results with newly soil and water loss investigation by remote sensing in Chongqing City, flaws found in the investigation and the relevant suggestions are presented. The evaluation indexes for soil and water loss investigation by remote sensing are also discussed.

**Keywords:** RS; GIS; vegetation

土壤侵蚀是一个复杂的问题, 利用常规地面调查方法人为的因素影响很大, 而且很费时, 遥感技术具有多种类、多平台、多时段、多波段的特色和信息丰富、信息周期短、实时性和动态性强等优势, 无疑是最快速有效的先进手段之一<sup>[1-2]</sup>。地理信息系统技术的发展使得对多要素的相关空间分析成为可能。因此, 利用遥感技术和 GIS 技术对我国的土壤侵蚀状况进行调查是最近 10 a 多来土壤侵蚀研究的热点。

建国以来, 全国范围内的土壤侵蚀遥感调查已经进行过 3 次。第一次调查是在 1983—1990 年, 使用的遥感资料为 MSS 纸质像片, 其分辨率低, 比例尺较小。第二次调查是在 1999 年, 以 1995 年 TM 影像为基本资料, 按 1:10 万比例尺, 采用数字遥感影像技术, 快速全面地查清了各类土壤侵蚀的面积、强度和地理分布。2001 年, 水利部组织了以 2000 年数字遥

感影像为基础的第三次全国土壤侵蚀遥感调查。结果表明, 土壤侵蚀仍是我国持续影响面最大的环境问题<sup>[3]</sup>。第三次全国土壤侵蚀遥感调查, 应用陆地卫星 TM 影像, 依据 SL190—96《土壤侵蚀分类分级标准》, 通过人机交互判读, 结合野外调查和样方测量, 进行土壤侵蚀类型及其强度的判别。植被因子是土壤侵蚀强度分级中重要的一个因子, 植被因子一般用植被覆盖度来集中体现。植被覆盖度是指植被的垂直投影面积与地块总面积之比, 它是植被冠层形状、植被空间分布、叶子倾角及重叠所形成的参量。

传统的植被覆盖度测量方法主要有目估法<sup>[4-5]</sup>、采样法<sup>[6]</sup>、仪器法<sup>[4]</sup>等, 但由于目估法主观性太强、采样法野外操作不便、仪器法成本较高而难以在大范围内快速提取植被覆盖度。因而, 遥感已成为估算植被覆盖度的主要技术手段。

收稿日期: 2007-05-20

基金项目: 国家重点基础研究计划项目 (CB2007407206); 中国科学院西间行动计划项目和中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室开放研究基金资助。

作者简介: 聂勇 (1981—), 男 (汉族), 四川省广汉市人, 博士生, 主要从事遥感与 GIS、土壤侵蚀等方面研究。E-mail: nieyong@126.com。

通讯作者: 范建容 (1969—), 女 (汉族), 四川省井研县人, 博士, 副研究员, 主要从事山地土壤侵蚀、遥感与 GIS 的应用研究。E-mail: fjrong@imde.ac.cn。

## 1 植被因子信息提取的方法介绍

### 1.1 三波段法

一般来说,植被在绿光波段有一个低反射峰,在近红外波段有一个高反射峰,在红光波段为一个吸收谷。而土壤光谱在绿到近红外波段近似线性变化。从土壤光谱库中全部 25 种土壤在  $0.56 \sim 0.8 \mu\text{m}$  之间的光谱曲线可以看出,在该波长范围内,大部分土壤光谱近似线性变化。唐世浩等<sup>[7-8]</sup>根据上述植被和土壤的光谱特点,提出如下形式三波段梯度差植被指数( $T_I$ ):

$$T_I = \frac{(R_{ir} - R_r)}{(i_r - r)} - \frac{(R_r - R_g)}{(r - g)} \quad (1)$$

若  $T_I < 0$ , 则取  $T_I = 0$ 。

式中:  $R_{ir}$ ,  $R_r$  和  $R_g$  ——近红外、红、绿波段的反射率;  $i_r$ ,  $r$  和  $g$  ——相应波段的波长中值。

分析该植被指数可以看出,随植被覆盖度增加,绿光和近红外反射率增加,红光反射率减小,该植被指数增大;反之该指数减小。对于植被来说,  $T_I$  一般不会小于 0。

利用  $T_I$  计算植被覆盖度( $F_c$ )的公式如下:

$$F_c = T_I / T_{I_{\max}} \quad (2)$$

式中:  $T_{I_{\max}}$  ——最大三波段梯度差。

### 1.2 回归模型法

通过对遥感数据的某一波段、波段组合或利用遥感数据计算出的植被指数与植被覆盖度进行回归,建立经验模型,利用得到的模型求取大范围的植被覆盖度。前人的研究表明植被覆盖度与植被指数有很强的相关性,总体上将回归模型法分为线性和非线性回归模型法。

**1.2.1 线性回归模型法** Graetz 等人利用 Landsat MSS 第 5 波段与植被覆盖度的实测数据进行线性回归分析<sup>[9]</sup>,利用回归模型估算了稀疏草原的植被覆盖度。也有学者用 ATSR—2 遥感图像数据,对 4 个波段(555, 670, 870 和 1 630 nm)分别与植被覆盖度进行线性回归,使用 4 个波段组合的线性模型估算植被覆盖度<sup>[10]</sup>。

Larsson 分别应用 TM, MSS, SPOT 影像数据对 Acacia 地区的植被覆盖度进行了线性回归分析<sup>[11]</sup>,估算了林地的植被覆盖度。

周从斌等利用遥感技术获取的植被指数与植被覆盖度和生物量的关系进行了研究<sup>[12]</sup>。研究表明,植被指数与植被覆盖度和生物量具有很高的相关性,植被指数与盖度的相关系数为 0.87,为定量提取植被覆盖度提供了依据。

**1.2.2 非线性回归模型** Purevdorj 等应用二次多项式回归分析了植被覆盖度与植被指数(NDVI, SAVI, MSAVI)的关系<sup>[13]</sup>,研究表明 NDVI 对大范围草场的植被覆盖度估算有较好的效果。

卢玉东等人通过野外样地调查并结合森林资源二类调查的资料<sup>[14]</sup>,建立植被覆盖度与植被指数的关系模型,通过统计相关分析得到植被覆盖度与 NDVI 的关系为:

$$y = 1.1682x^2 + 0.786x + 0.0782$$

进而计算出各覆盖度分级的阈值,提取植被覆盖度,较为准确地获取覆盖度信息。

回归模型对于局部的植被覆盖度测量有较高的精度,也存在局限性,只适用于特定的区域与特定的植被类型,不具有普遍意义。

### 1.3 像元分解模型法

像元分解模型法的原理是,图像中的一个像元实际上可能由多个组分构成,每个组分对遥感传感器所观测到的信息都有贡献,因此可以将遥感信息(波段或植被指数)分解,建立像元分解模型,并利用此模型估算植被覆盖度。

目前已开发出的模型主要有 5 种,分别是线性模型、概率模型、几何光学模型、随机几何模型和模糊分析模型。最常用的是线性分解模型,其假设像元信息为各组份信息的线性组合。在线性分解模型中有一个简单实用的模型,即像元二分模型<sup>[15-18]</sup>。

**1.3.1 像元二分法模型** 像元二分法模型的原理为:通过遥感传感器所观测到的信息  $S$  可以表达为由绿色植被部分所贡献的信息  $S_v$ , 和由无植被覆盖(裸土)部分所贡献的信息  $S_s$  两部分,即:

$$S = S_v + S_s \quad (3)$$

设一个像元中有植被覆盖的面积比例为  $F_c$ , 即为该像元的植被覆盖度,则无植被覆盖的面积比例为  $1 - F_c$ 。如果全由植被所覆盖的纯像元所得的遥感信息为  $S_{veg}$ , 则混合像元的植被部分所贡献的信息可以表示为  $S_{veg}$  与  $F_c$  的乘积,即:  $S_v = F_c \times S_{veg}$ 。同理,如果全由无植被所覆盖的纯像元所得的遥感信息为  $S_{soil}$ , 混合像元的土壤成分所贡献的信息  $S_s$  可以表示为  $S_{soil}$  与  $1 - F_c$  的乘积:

$$S_s = (1 - F_c) \times S_{soil} \quad (4)$$

通过公式变换,可得以下植被覆盖度的计算公式:

$$F_c = (S - S_{soil}) / (S_{veg} - S_{soil}) \quad (5)$$

式中:  $F_c$  ——一个像元中有植被覆盖的面积比例;  $S_{soil}$  ——纯土壤像元的信息;  $S_{veg}$  ——纯植被像元的信息。只要知道这 2 个参数就可以根据公式(5)利用遥感信息来估算植被覆盖度。

该模型表达了遥感信息与植被覆盖度的关系,其参数  $S_{soil}$  与  $S_{veg}$  都具有实际的含义,即土壤与植被的纯像元所反映的遥感信息,模型具有一定的理论基础,摆脱地域的限制,易于推广,同时,该模型也削弱了大气、土壤背景与植被类型的影响。

1.3.2 植被指数估算植被覆盖度 直接利用植被指数近似估算植被覆盖度是一个较好的方法。归一化差值植被指数(NDVI),是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子,计算式为:  $NDVI = (band4 - band3) / (band4 + band3)$  [19]。根据像元二分模型,一个像元的 NDVI 值可以表达为由绿色植被部分所贡献的信息  $NDVI_{veg}$ ,与无植被覆盖部分所贡献的信息  $NDVI_{soil}$  这两部分组成。将归一化植被指数(NDVI)代入公式(5)可以得到:

$$F_c = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (6)$$

式中:  $NDVI_{soil}$  ——裸土的 NDVI 值,即无植被像元的 NDVI 值;  $NDVI_{veg}$  ——完全被植被所覆盖的像元的 NDVI 值,即纯植被像元的 NDVI 值。

1.3.3  $NDVI_{veg}$  与  $NDVI_{soil}$  参数的确定 在研究的区域中,假设有 2 个像元  $a_1, a_2$ , 及它们的植被覆盖度  $F_{c1}, F_{c2}$ , 代入公式(6)得到:

$$\begin{cases} F_{c1} = (NDVI_1 - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \\ F_{c2} = (NDVI_2 - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \end{cases}$$

对公式求解可得:

$$\begin{cases} NDVI_{soil} = (F_{c2} \times NDVI_1 - F_{c1} \times NDVI_2) \div (F_{c2} - F_{c1}) \\ NDVI_{veg} = [(1 - F_{c2}) \times NDVI_2 - (1 - F_{c1}) \times NDVI_1] \div (F_{c2} - F_{c1}) \end{cases}$$

原则上,代入任何 2 个已知像元的值就可以求出这两个参数,但实际上,我们很难找到纯植被和纯土壤的像元。我们可以作一个转化,假设  $a_1$  是区域中 NDVI 最小值的像元,  $a_2$  为区域中 NDVI 具有最大值的像元。对  $NDVI_{veg}$  和  $NDVI_{soil}$  的确定,转化为对  $F_{cmax}, F_{cmin}, NDVI_{imax}, NDVI_{imin}$  这 4 个参数的确定。

根据植被覆盖度最大值与最小值的不同取值,分两种情况讨论。

(1) 当  $F_{cmax}$  可以近似取 100%, 且  $F_{cmin}$  可以近似取 0% 时

$$NDVI_{veg} = NDVI_{imax}, NDVI_{soil} = NDVI_{imin}$$

由于噪声的存在,  $NDVI_{veg}, NDVI_{soil}$  并不一定是 NDVI 的最大值和最小值,而是取给定置信度区间内的最大值和最小值。在实际应用中,植被类型随土地利用类型而变化。对某一土地利用类型,由于植被类型近似,其  $NDVI_{veg}$  值也近似;而对特定土壤类型,其  $NDVI_{soil}$  值也是一定的。因此,土地利用和土壤图可

以作为计算  $NDVI_{veg}$  与  $NDVI_{soil}$  值的基础。

在重庆地区,  $F_{cmax}$  可以近似取 100%, 且  $F_{cmin}$  可以近似取 0%。因此本文选择这个方法提取植被覆盖度。首先计算 NDVI 值;然后利用土地利用图和土壤图对 NDVI 图进行切割,分别提取不同土地利用和土壤类型单元内的 NDVI,针对每个单元计算 NDVI 值的频率累积值,最后根据频率累积表,土类单元内取频率为 5% 的 NDVI 值为  $NDVI_{soil}$ ;土地利用单元内取频率为 95% 的 NDVI 值为  $NDVI_{veg}$ 。

(2) 当  $F_{cmax}$  不能近似取 100%, 且  $F_{cmin}$  不能近似取 0% 时,应用遥感技术监测植被覆盖度,都需要进行实测数据的检验。如果有一定量的实测数据,那么只需取一组实测数据中的植被覆盖度的最大值和最小值,作为  $F_{cmax}, F_{cmin}$ ,并在图像中找到实测数据对应像元的 NDVI,分别作为  $NDVI_{veg}, NDVI_{soil}$ ,其余实测数据都可以作为检验值。

## 2 试验区概况

开县位于重庆市东北部,地处大巴山麓、三峡库区腹地。位于东经 107°55'48" — 108°53'36", 北纬 30°49'30" — 31°41'30" 之间,海拔最高点 2 626 m,最低点为 134 m,相对高差 2 492 m,幅员面积 3 959.00 km<sup>2</sup>,以山地为主。亚热带常绿阔叶林是全县的基带植被类型,主要树种有青岗、山茶、木荷、棕榈等,低海拔的地方常绿阔叶林多被人类破坏,主要是马尾松、杉木、柏木的亚热带针叶林。地貌由于受地质构造和岩性的控制,一般背斜呈长条状低中山,向斜呈宽缓台状低山,宽谷丘陵。全县多年平均气温 15.5℃,大于 10℃ 积温长达 277 d,无霜期 306 ~ 180 d。开县多年平均降水量 1 385 mm,降水总量为 5.51 × 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>。

## 3 遥感数据处理

试验区所用 TM 影像是由 3 景美国 LANDSAT 卫星的 TM 影像拼接而成的,3 景 TM 影像获取时间分别是 2004 年 1 月 24 日,2004 年 4 月 22 日,2004 年 8 月 19 日。空间分辨率为 28.5 m × 28.5 m,对 TM 影像标准假彩色合成(R4G3B2)。结合开县的 DEM 对 TM 影像进行了正射几何校正和配准,引入 DEM 以纠正地形引起的误差,纠正的精度在一个像元内。

## 4 植被覆盖度的提取和分析

### 4.1 估算植被覆盖度的过程

提取植被指数,依据像元二分模型,按照  $F_{cmax}$  可以取 100%,  $F_{cmin}$  可以取 0% 来确定  $NDVI_{veg}$  与 ND-

$V_{\text{Soil}}$  的值,具体步骤如下:

步骤 1:计算 NDVI。

步骤 2:利用土地利用图和土壤图对 NDVI 图进行切割,做出各个类型对应的 NDVI 概率分布,计算置信度区间内的最大值和最小值。

步骤 3:取  $NDVI_{\text{veg}} = NDVI_{\text{max}}$ ,  $NDVI_{\text{soil}} = NDVI_{\text{min}}$ ,将以上二式代入公式(6),计算整个试验区的植被覆盖度。

#### 4.2 植被覆盖度的结果分析

据上述步骤计算得到重庆市开县 2004 年植被覆盖度,对典型林草地植被覆盖度进行随机均匀采样,统计样区直方图。该直方图呈单峰分布,均值达 71.8%,中值为 73.4%,标准差为 17.5%,林草地的植被覆盖度集中在 60%~90%之间,结合实地的样地调查,认为此结果符合开县的实际情况,该方法估算植被覆盖度的效果较好。最后对植被覆盖度按照调查要求分为 5 级,即 0~30%,30%~45%,45%~60%,60%~75%,75~100%共 5 级。

利用像元二分模型估算植被覆盖度的方法简单,可操作性强,能摆脱地域的限制而易于推广。同时,当植被覆盖度小于 15%或植被覆盖度大于 80%时,NDVI 对植被覆盖度变化不敏感,与 Baret 的研究结果一致<sup>[20]</sup>,因此本模型也存在一些不足。

### 5 水土流失评价指标的讨论

#### 5.1 水力侵蚀分级标准

重庆市以水力侵蚀为主,只有少量的重力侵蚀和工程侵蚀,没有风力侵蚀。依据《全国土壤侵蚀遥感调查技术规程》和水利部发布的中华人民共和国行业标准 SL190—96《土壤侵蚀分类分级标准》建立了重庆市土壤侵蚀水力侵蚀分级标准(见表 1)。

#### 5.2 水土流失调查方法

基于遥感和地理信息系统技术,采用 TM 卫星影像,通过人机交互目视解译获取土地利用信息,应用数字高程模型(DEM)生成坡度图,从 TM 影像提取 NDVI,利用像元二分模型得到植被覆盖度,依据水力侵蚀标准,将土地利用、坡度和植被覆盖度进行编码,空间分析,得到土壤侵蚀强度分级数据。

#### 5.3 水土流失调查存在的不足和建议

《全国土壤侵蚀遥感调查技术规程》和水利部 SL190—96《土壤侵蚀分类分级标准》是针对全国范围内的土壤侵蚀调查制定的标准。这 2 种规范选择了植被覆盖度、坡度、土地利用作为水力侵蚀的主要因子,总体上可以把握重庆地区的土壤侵蚀状况,同时存在一些不足。

表 1 水力侵蚀分级标准

侵蚀强度	土地利用类型	植被覆盖度	坡度
微度	林地和草地	75 %	
	旱地		0°~5°
	水域、水田、城乡 工矿和居民用地		
轻度		60 %~75 %	5°~25°
	林地和草地	45 %~60 %	5°~15°
		30 %~45 %	5°~8°
中度	旱地		5°~8°
		60 %~75 %	25°
	林地和草地	45 %~60 %	15°~35°
强度		30 %~45 %	8°~25°
		<30 %	5°~15°
	旱地		8°~15°
极强度		45 %~60 %	35°
	林地和草地	30 %~45 %	25°~35°
		<30 %	15°~25°
剧烈	旱地		15°~25°
		30 %~45 %	35°
	林地和草地	<30 %	25°~35°
剧烈	旱地		25°~35°
		<30 %	35°
	旱地		35°

5.3.1 疏林地植被覆盖度高但提取的植被覆盖度偏低 疏林地郁闭度小于 30%,但重庆水热条件良好,林下草的覆盖度高,总体上,疏林地的植被覆盖度是很高的,和林下植被稀疏的有林地相比这些疏林地的侵蚀更小,这点很难通过遥感影像得到反映,需要进行更深入的研究。

5.3.2 不同时间段的遥感影像存在差异,时相的统一问题亟待解决 不同的季节,植被覆盖存在差异,大面积的水土流失遥感调查不可能在同一天获取整个研究范围内高质量的影像,为了更好的获得植被因子,不同时间段的遥感影像如何统一从而有效的提取植被因子的问题亟待解决。

5.3.3 坡改梯后旱地的坡度得不到真实的反映 在重庆的山区,旱地大部分分布于山坡相对较平缓的坡位,经过长期的耕作和“长治”工程以来的坡改梯工程后实际的坡度往往比山坡自然的坡度小,以 1:5 万地形图提取的坡度实际上是反映山体的自然坡度,并不

能真实的反映实际的坡度。因此,建议选择更高精度的卫星图像(如 SPOT 影像,如果对小流域进行水土流失遥感调查建议使用 IKONOS 或 QUICKBIRD 影像)、或者对成片坡改梯的区域进行详查,以便更真实的反映“水土流失”的实际情况。

5.3.4 零星分布在低洼谷地的水田面积太小,难以勾绘界线。重庆市丘陵山地面积大,耕作时间长,在谷地能够有充足的灌溉水源,往往形成面积狭长的水田,在 1:10 万比例尺上难以得到充分表现。

#### 5.4 水土流失分级指标的讨论

在重庆地区,由于独特复杂的地理环境,水土流失有一定的特殊性,在实际调查和验证后,建议添加土壤因子和降雨因子作为水土流失定级的指标。

(1) 土壤因子的选择。土壤可蚀性反映了土壤对侵蚀的敏感性及降水所产生的径流量与径流速率的大小。不同土壤的可蚀性存在差异,不同的母质发育成相同的土壤其可蚀性也存在差异。重庆市境内侏罗系遂宁组岩层发育形成的紫色土面积分布广泛,其中遂宁组泥岩发育而成的紫色土抗冲刷和抗侵蚀能力弱,极容易发生土壤侵蚀,侵蚀量大,遂宁组砂岩发育而成的紫色土则不容易侵蚀,因此紫色土的侵蚀级别应该根据其形成的母质来进行区别分级。

(2) 降雨因子的选择。降雨侵蚀因子反映了对土壤的潜在的侵蚀动力。整个重庆市  $8.00 \times 10^4$  km<sup>2</sup> 的面积,降雨丰富,各个区域的降雨强度和降雨量存在差异,而《全国土壤侵蚀遥感调查技术规程》和《土壤侵蚀分类分级标准》却没有考虑这个因子,土壤水力侵蚀强度分级时应该结合各区域降雨侵蚀的空间差异进行分级。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 李国英. 对我国水土保持工作的几点思考[J]. 中国水土保持,1998(2):20—23.
- [2] 景可,王万忠,郑粉莉. 中国土壤侵蚀与环境[M]. 北京:科学出版社,2005.7—9.
- [3] 薛利红,杨林章. 遥感技术在我国土壤侵蚀中的研究进展[J]. 水土保持学报,2004,18(3):186—189.
- [4] 章文波,符素华,刘宝元. 目估法测量植被覆盖度的精度分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2001,37(3):402—408.
- [5] 张云霞,李晓兵,等. 草地植被覆盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述[J]. 地球科学进展,2003(1):85—93.
- [6] 赵春玲,李志刚,等. 中德合作宁夏贺兰山封山育林育草项目区植被覆盖度监测[J]. 宁夏农林科技,2000(6):6—14.
- [7] 唐世浩,朱启疆,周宇宇,等. 一种简单的估算植被覆盖度和恢复背景信息的方法[J]. 中国图象图形学报,2003,8A(11):1304—1308.
- [8] 唐世浩,朱启疆,王锦地,等. 三波段梯度差植被指数的理论基础及其应用[J]. 中国科学(D辑),2003,33(11):1094—1102.
- [9] Graetz R D, Pech R R, Davis A W. The assessment and monitoring of sparsely vegetated rangelands using calibrated Landsat data [J]. International Journal of Remote Sensing,1988,9(7):1201—1222.
- [10] Peter R J North. Estimation of fAPAR, LAI, and vegetation fractional cover from ATSR—2 imagery [J]. Remote Sensing of Environment, 2002,80(1):114—121.
- [11] Larsson H. Linear regression for cover estimation in Acacia woodlands using Landsat—TM, - MSS and SPOT HRV XS data[J]. International Journal of Remote Sensing,1993,14(11):2129—2136.
- [12] 周从斌,范建容. 金沙江干热河谷土地荒漠化评价的植被指标分析[J]. 云南地理环境研究,2002,14(1):80—84.
- [13] Purevdorj T, Tateishi R, Ishiyama T, et al. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998,19(18):3519—3535.
- [14] 卢玉东,尹光志,熊有胜,等. 应用 TM 图像分析重庆南川市土壤侵蚀与植被覆盖度的关系[J]. 南京农业大学学报,2005,28(4):72—75.
- [15] 陈晋,陈云浩,何春阳,等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. 遥感学报,2001,5(6):416—422.
- [16] 陈云浩,李晓兵,史培军,等. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J]. 植被生态学报,2001,25(5):588—593.
- [17] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学,2004,26(4):153—159.
- [18] 田静,阎雨,陈圣波. 植被覆盖率遥感研究进展[J]. 国土资源遥感,2004,1:1—5.
- [19] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.372—392.
- [20] Baret F, Guyot G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment [J]. Remote Sensing of Environment, 1991,35(2):161—173.