

# 基于像元二分模型的淮河上游植被覆盖度遥感研究

刘玉安<sup>1,3</sup>, 黄波<sup>1,2</sup>, 程涛<sup>1,4</sup>, 曲乐安<sup>3</sup>

(1. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079; 2. 香港中文大学 地理与资源管理系, 香港 新界;  
3. 安徽师范大学 国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241003; 4. 广西工学院 汽车工程系, 广西 柳州 545006)

**摘要:** 在分析国内外植被覆盖度遥感估算方法的基础上, 选用 NDVI 像元二分模型, 利用“北京一号”小卫星多光谱数据, 结合淮河上游流域实际情况, 设计了模型应用的技术路线, 对研究区植被覆盖度进行了精确估算。利用目估法和照相法对估算结果进行实地验证和分析。结果表明, 模型相关系数达到了 0.818, 研究区内平均植被覆盖度为 58.1%, 呈现北部低南部高的  $\gamma$  型空间分布。

**关键词:** 像元二分模型; 植被覆盖度; “北京一号”小卫星; 遥感; 淮河上游流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)01-0093-05

中图分类号: P237

## Vegetation Coverage in Upper Huaihe River Basin Based on Binary Pixel Model of Remote Sensing

LIU Yu-an<sup>1,3</sup>, HUANG Bo<sup>1,2</sup>, CHENG Tao<sup>1,4</sup>, QU Le-an<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430079, China; 2. Department of Geography and Resource Management, The Chinese University of Hongkong, Shatin, NT, Hongkong, China; 3. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241003, China; 4. Department of Automotive Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China)

**Abstract:** Based on the analysis of estimation methods for vegetation coverage at home and abroad, a technological route of model application is designed to estimate vegetation coverage in the upper reaches of Huaihe River. The study is conducted by using binary pixel model and “Beijing-1” micro-satellite multi-spectral data under consideration of the situation of the study area. Then the estimated results are validated and analyzed by using ocular method and photographic method. Results show that the model correlation coefficient is 0.818. The average vegetation coverage in the study area is 58.1% and presents a  $\gamma$ -type spatial distribution which is low in the north and high in the south.

**Keywords:** binary pixel model; vegetation coverage; “Beijing-1” micro-satellite; remote sensing; upper Huaihe River basin

植被覆盖度一般定义为植被(包括叶、茎、枝)在单位面积内的垂直投影面积所占百分比。植被覆盖及其变化是区域生态系统环境变化的重要指示, 对水文、生态、全球变化等都具有重要意义, 而植被覆盖度是衡量地表植被状况的一个最重要的指标, 同时, 它又是影响土壤侵蚀与水土流失的主要因子<sup>[1]</sup>。

植被覆盖度的传统实测法获取的多是点上的地表植被覆盖度, 常用方法有目估法、照相法、网格法、阴影法、空间定量计法和点测法等<sup>[2]</sup>。然而, 由于是野外作业, 受到时间、区域和天气条件的限制, 局限性太大, 不易大范围推广。

由于地基、空基、天基遥感平台上传感器的空间分辨率、光谱分辨率、辐射分辨率和时间分辨率各不相同, 遥感影像能够提供反映不同时空尺度上的植被覆盖信息及其动态变化, 方便快捷, 因此, 越来越多的学者和研究人员开始借用遥感技术进行有关地表特征等方面的研究, 遥感监测已成为获取区域植被覆盖度参数的主要技术手段。

基于植被指数的植被覆盖度遥感估算方法有: 植被指数法、经验模型法、像元分解模型法及 FCD 模型制图法 (forest canopy density mapping model) 等等。

收稿日期: 2011-03-31

修回日期: 2011-05-12

资助项目: 国家高技术研究发展计划“全球地表覆盖遥感制图与关键技术研究”(2009AA12200)

作者简介: 刘玉安(1978—), 男(汉族), 山东省菏泽市人, 博士生, 讲师, 主要研究方向为资源环境遥感、遥感图像处理等。E-mail: lya99177615@163.com。

通信作者: 黄波(1968—), 男(汉族), 香港人, 教授, 研究方向为时空统计模型、空间优化、移动 GIS 以及图像处理等。E-mail: bohuang@cuhk.edu.hk。

植被指数法是通过建立植被指数与植被覆盖度的转换关系来直接计算植被覆盖度,此方法简单易操作而且所用的植被指数一般都通过验证与植被覆盖度具有较好的相关性<sup>[3-4]</sup>。经验模型法由样点构建地表植被覆盖度实测值与遥感信息之间的线性或非线性的回归模型,然后将该模型推广到整个研究区域,估算研究区植被覆盖度<sup>[5-8]</sup>,此方法的不足是对特定研究区域的实测数据具有很强的依赖性。像元分解模型法认为影像中的每一个像元实际上可能由多个端元组分构成,每个端元组分对传感器所观测到的信息都有贡献,因此可建立像元分解模型,并以此模型估算植被覆盖度;按原理不同可分为线性模型、概率模型、几何光学模型和模糊分析模型等<sup>[9-15]</sup>。FCD 是通过 FCD 值大小划分植被覆盖度等级,从而做出植被覆盖度等级图的一种新方法<sup>[16]</sup>;该方法对植被状态进行了定量分析,并以百分位数来表示结果,其优点是能够表明植被的生长现象,同时也表明了植被满足恢复要求的强度,这一方法也常用来检测植被的动态变化。

## 1 研究区概况、数据资料及数据处理

### 1.1 研究区概况

研究区主要包括淮河干流的源头及上游桐柏山区、豫南、鄂北及皖西大别山区,跨越豫、鄂、皖 3 省,行政区划包括淮河流域内河南省信阳市、安徽省安阳市和湖北省的部分县市,地理坐标为北纬  $30^{\circ}53' - 32^{\circ}47'$ ,东经  $113^{\circ}18' - 116^{\circ}38'$ (附图 3)。该区属北亚热带温暖湿润季风气候区,具有典型的山地气候特征,气候温和,雨量充沛。年平均气温为  $12.5^{\circ}\text{C}$ ,平均降水量为  $1\ 832.8\ \text{mm}$ ,多年降雨量约为  $1\ 400\ \text{mm}$ ,最大降雨量  $2\ 700\ \text{mm}$ 。暴雨强度大,且相当频繁<sup>[17]</sup>。

### 1.2 数据准备及数据处理

#### 1.2.1 数据准备

(1) 2007 年 5 月份的 4 景、9 月份的 3 景“北京一号”小卫星多光谱影像<sup>[18]</sup>; (2) 流域内 2000 年土地利用图; (3) 1:5 万地形图和土壤类型图; (4) 相关统计资料等。

1.2.2 几何精校正 卫星影像几何精校正通过校正模型,利用相关的数据(地面控制点 GCP,地形图,卫星姿态参数等)把原始卫星影像纳入到某个制图坐标系中,同时消除其畸变,改正由于地形起伏引起的投影差。它对于卫星影像信息的深加工有十分重要的意义。

1.2.3 季相模拟 通过对研究区的多次调查研究,认为当时相在 8 月份时,植物生长旺盛、叶片最大,植

被覆盖达到极值,因此选择与此时期相近的 9 月份影像为准,对 5 月份的影像进行模拟。模拟过程采用单波段对应的线性回归法,具体作法是:将需要模拟的波段和标准波段导入同一个图像文件,然后分析对应波段之间的相关性,求出两者的回归方程: $y = a * x + b$ ,然后将 5 月份影像的第 1 波段减去截距  $b$  保存为新波段,其他波段依此类推,完成后,新波段的组合即是模拟后的结果。

1.2.4 镶嵌和裁剪 参考地理坐标对 7 景“北京一号”小卫星多光谱影像进行镶嵌,然后由研究区范围裁剪成所需图像。

## 2 理论与方法

### 2.1 像元二分模型

2.1.1 植被指数 归一化植被指数(NDVI)是近红外波段 NIR 与可见光红波段 RED 数值之差与这两个波段数值之和的比值,即: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ ,NDVI 是植物生长状态及植被空间分布密度的最佳指示因子,可在很大程度上消除地形阴影和大气的干扰,与植物分布密度呈线性相关。

根据植被指数和“北京一号”小卫星的特点(表 1),选取近红外波段  $Band_3$  和红波段  $Band_2$ ,进行 NDVI 植被指数的计算。

表 1 “北京一号”小卫星影像数据特征

波段	波长/ $\mu\text{m}$	分辨率/m
Pan	0.50~0.80	4
$Band_1$ (绿)	0.52~0.62	32
$Band_2$ (红)	0.63~0.69	32
$Band_3$ (近红外)	0.76~0.90	32

2.1.2 像元二分法原理 像元二分模型是线性模型中最常用的,它假定通过遥感传感器所观测到的信息可以表达为由无植被覆盖(裸土)部分所贡献的信息和由植被覆盖部分所贡献的信息 2 部分组成。可以由无植被覆盖部分即裸土部分所贡献的信息  $R_s$  与植被覆盖部分所贡献的信息  $R_v$  两部分的线性加权,来表示任一像元的反射率值  $R$ ,即:

$$R = R_s + R_v \quad (1)$$

对于任一像元的组成有 2 种可能,一是地表只有一种地物组成成分即纯像元,另一种可能是由多种地物组成成分构成混合像元。实际操作中,遥感影像上任一像元基本都是混合像元,绝对的纯像元是很少存在的。假设该任一像元是纯像元,则纯植被所覆盖的反射率为  $R_{veg}$ ,无植被覆盖即纯是裸土的反射率为  $R_{soil}$ 。如果该任一像元是混合像元,假设只由植被和

土壤 2 种组分组成,则这个像元中有植被覆盖的面积比例为  $V_f$  即该像元的植被覆盖度,那么裸土覆盖的面积比例则为  $(1-V_f)$ 。

因此,该混合像元的植被部分所贡献的信息  $R_v$  可以表示为纯植被反射率  $R_{veg}$  与像元中植被覆盖面积  $(V_f)$  的乘积,而裸土所贡献的信息  $R_s$  可以表示为  $R_{soil}$  与  $(1-V_f)$  的乘积,如下:

$$R = R_{veg} \times V_f + R_{soil} \times (1 - V_f) \quad (2)$$

整理式(2),可得到计算植被覆盖度的公式:

$$V_f = (R - R_{soil}) / (R_{veg} - R_{soil}) \quad (3)$$

多项研究表明,将 NDVI 直接代入式(3)中,所带来的影响较小,可以忽略,因此,计算植被覆盖度的公式可表达为:

$$V_f = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (4)$$

式中:  $NDVI_{soil}$  ——完全裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值;  $NDVI_{veg}$  ——完全由植被所覆盖的像元的 NDVI 值。很明显,只要已知  $NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$  这 2 个参数,代入式(4)即可计算出研究区的植被覆盖度。

### 2.2 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 参数分析

研究人员对式(4)中  $NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$  这 2 参数的取值方法各不相同。Qi 等<sup>[11]</sup>在估算桑河流域植被覆盖度的研究中,分别应用 3 种类型遥感数据计算 NDVI,从多时相高分辨率数据中得到  $NDVI_{veg}$  参数,而  $NDVI_{soil}$  参数取自图像中理想的裸地的 NDVI 值。孙久虎等<sup>[10]</sup>在利用像元二分模型估算北运河地区植被覆盖度的研究中,以图像中的最小 NDVI 值作为  $NDVI_{soil}$  参数,而最大 NDVI 值作为  $NDVI_{veg}$  参数。牛宝茹等<sup>[12]</sup>采用像元二分模型估算植被覆盖度时,选用同时相、同地区的高分辨率影像的最大 NDVI 值作为中等分辨率 TM 图像的  $NDVI_{veg}$  参数。

理论上,  $NDVI_{soil}$  值是一个变化很小的接近 0 的定值,但对于不同土壤类型的裸露地表,  $NDVI_{soil}$  会随着类型变化而在  $-0.1 \sim 0.2$  范围内波动<sup>[19]</sup>。同理,  $NDVI_{veg}$  值也会随着土地利用类型、植被物候期的变化而波动<sup>[20]</sup>。因此,土地利用图和土壤图作为选取  $NDVI_{veg}$  和  $NDVI_{soil}$  参数的依据,所得估算结果更接近现实。

本研究参考研究区土地利用图和土壤图,选取 NDVI 值累积频率置信度(5%~95%)的最大值与最小值,作为  $NDVI_{veg}$  和  $NDVI_{soil}$  参数值。

### 2.3 研究区植被覆盖度估算

根据 NDVI 像元二分法原理对淮河上游流域内的植被覆盖度进行了遥感估算,其技术流程如图 1 所示。首先由流域边界图与经过预处理的“北京一号”

卫星影像进行镶嵌和裁剪,获得研究区影像图。然后计算上游流域内的 NDVI 得到流域内的 NDVI 图,并参考研究区土地利用图和土壤图,对 NDVI 值进行频率统计。根据频率统计结果(表 2),取累积频率为 5% 的 NDVI 值 0.126 0 为  $NDVI_{soil}$  参数值,累积频率为 95% 的 NDVI 值 0.645 1 为  $NDVI_{veg}$  参数值。最后,将所得的  $NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$  参数代入式(4)中计算,得到研究区植被覆盖度分布图。

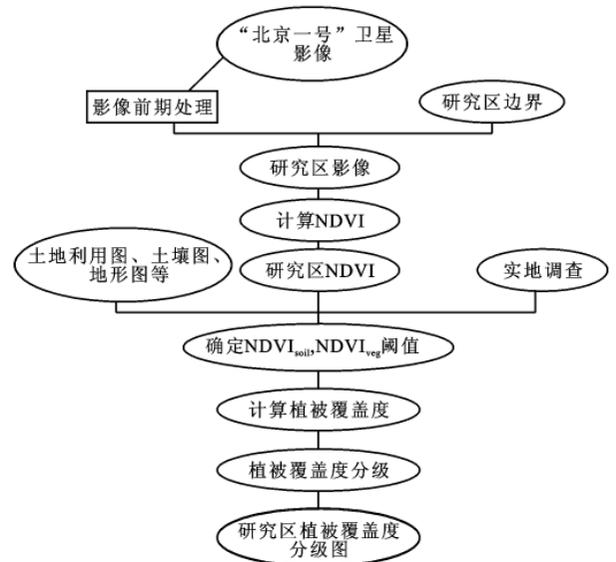


图 1 研究区植被覆盖遥感估算技术流程

表 2 研究区 NDVI 频率统计结果

最小值	最大值	均值	5%	95%	像元总个数
-1.000 0	0.868 9	0.405 8	0.126 0	0.645 1	26 716 000

## 3 结果与分析

### 3.1 结果验证

为了对本次研究结果进行精度检验,同时验证 NDVI 像元二分法是否能有效地应用于“北京一号”小卫星进行植被覆盖度反演,本研究在流域内选取 35 个  $3 \times 3$  样区(3 个像元  $\times$  3 个像元)进行采样实地验证。为了保持实地调查与影像成像时的地表状态相似,考察时间确定为 2009 年 8 月 12—18 日,地点为淮河上游流域的六安、金寨、霍山、舒城等 4 个市的部分地区。据当地居民反映,由于国家大力推行退耕还林还草政策和村民大量外出务工等原因,砍柴放牧现象几乎绝迹,研究区生态环境得到较好保护,地表植被未发生明显变化。综合考虑以上因素,研究认为选取 2009 年进行验证虽与影像成像时间 2007 年相距 2 a,但时间因素对覆盖度的影响较小可忽略不计。

实际操作中,结合照相法与目估法。首先用数码相机拍摄采样点的周边环境,再以平行于地面的角度,拍摄局部信息,然后对样点的植被覆盖度进行目估,最后取平均值。同时,使用 GPS 定位,获得采样点的经纬度坐标。最后将估算结果与实地测量结果进行相关性分析,NDVI 像元二分法估算结果与实测植被覆盖度的散点图对比。结果表明,应用 NDVI 像元二分模型的估算结果与实测值间有较高的相关性,相关系数达到了 0.818,标准差为 0.13(图 2)。

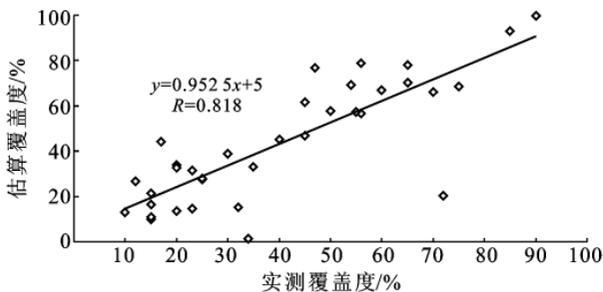


图 2 植被覆盖度估算结果与实测结果相关性分析

由于各种客观原因,所选采样点均分布于淮河上游流域安徽省境内,因此,获得的实地验证数据具有一定的地域性和片面性,虽然相关系数达到了 0.818,模型也能较好地反演样区植被覆盖度,但要推广到整个研究区有待进一步验证,这也是本研究不足之处。

### 3.2 结果分析

按照技术流程步骤,计算出 2007 年 9 月份淮河上游流域的平均植被覆盖度为 58.1%,依照植被覆盖度分级编码表,将植被覆盖度分为 6 类,即 0~15% (裸地),15%~30% (低覆盖),30%~45% (中低覆盖),45%~60% (中覆盖),60%~75% (中高覆盖),75%~100% (高覆盖)(附图 4)。

从附图 4 可以看出,淮河上游流域内植被覆盖度的空间分布趋势是北部低南部高,呈  $\gamma$  型分布特点。以东经 114°和北纬 31.75°划分为 A, B, C 这 3 个分区:东经 114°以西为 A 区高覆盖地区,东经 114°以东、北纬 31.75°以北为 B 区低覆盖地区,北纬 31.75°以南为 C 区高覆盖地区。

B 区低覆盖地区,由于土地类型以低矮丘陵农田居多,加上剧烈的人类活动,导致该区域植被覆盖度很低;而 A 和 C 区由于处于桐柏山和大别山区,山势陡峭,土地类型主要为林地,且由于当地实施退耕还林还草、禁止砍伐和封山育林等,减少了人类活动对植被的破坏,因此植被平均覆盖度最高,达 75% 以上,局部地区如河南信阳南湾水库和安徽金寨县梅山水库上游的植被覆盖度高达 95%。6 类植被覆盖度

面积如表 3 所示。结果表明,植被高覆盖区面积最多,达到 8 300 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 30.5%,裸地最少,只有 7.08%;各类别按面积大小排序为:高覆盖>中覆盖>中低覆盖>中高覆盖>低覆盖>裸地。这也验证了 NDVI 值饱和是植被高覆盖区面积最多的原因。

表 3 各类植被覆盖度面积比例

类别	像元个数	比例/%	面积/km <sup>2</sup>
无植被区	1 500 714	5.62	1 536
裸地	1 890 443	7.08	1 935
低覆盖	3 356 656	12.56	3 437
中低覆盖	4 076 636	15.26	4 174
中覆盖	4 081 153	15.28	4 179
中高覆盖	3 663 800	13.71	3 751
高覆盖	8 147 354	30.50	8 342
合计	26 716 756	100.00	27 358

## 4 结论

研究采用 NDVI 像元二分法植被覆盖度估算模型,利用“北京一号”多光谱遥感数据进行淮河上游流域植被覆盖度估算,并对估算结果进行了实地验证和分析,获得了可信的研究成果。然而,在进行植被覆盖度估算过程中,也存在一些问题与不足。

(1) 使用“北京一号”多光谱遥感数据,获取了桐柏大别山淮河上游流域植被覆盖度专题信息,表明可以使用“北京一号”遥感数据进行连续、大面积的植被监测,其应用可以推广到林业、土地、灾害监测等领域。

(2) 证实了 NDVI 像元二分模型能有效地应用于“北京一号”小卫星数据,具有较高的植被覆盖度估算精度,其实测值与估算值相关系数达到 0.818。

(3) 桐柏大别山淮河上游流域平均植被覆盖度为 58.1%,表现为  $\gamma$  型空间分布特点:北部低南部高;以东经 114°和北纬 31.75°划分为 A, B, C 这 3 个分区, A, C 区属于高覆盖地区, B 区属于低覆盖地区。

(4) 植被高覆盖区面积为 8 300 km<sup>2</sup>,占到研究区总面积的 30.5%,各类别按面积由大到小排序为:高覆盖>中覆盖>中低覆盖>中高覆盖>低覆盖>裸地。

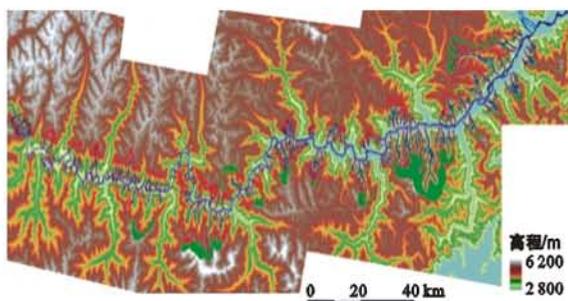
(5) NDVI<sub>veg</sub> 和 NDVI<sub>soil</sub> 参数的取值受图像质量、采样时间、置信度等因素的影响,具有一定的主观性,因此,参数取值精度会引起覆盖度分级的不准确性。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张清春,刘宝元,翟刚. 植被与水土流失研究综述[J]. 水土保持研究,2002,9(4):96-101.
- [2] 章文波,刘宝元,吴敬东. 小区植被覆盖度动态快速测量方法研究[J]. 水土保持通报,2001,21(6):60-63.
- [3] 杨胜天,刘昌明,杨志峰,等. 南水北调西线调水工程区的自然生态环境评价[J]. 地理学报,2002,57(1):11-18.
- [4] Mohammad A, Shi Z, Ahmad Y, et al. Application of GIS and remote sensing in soil degradation assessments in the Syrian coast[J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2002,26(2):191-196.
- [5] Gitelson A A, Kaufman Y J, Robert S, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. Remote Sensing of Environment, 2002,80(1):76-87.
- [6] 池宏康. 沙地油蒿群落覆盖度的遥感定量研究[J]. 植物生态学报,2000,24(4):494-497.
- [7] 查勇. 草地植被变化遥感监测方法研究:以环青海湖地区为例[D]. 南京:南京师范大学,2003.
- [8] 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.
- [9] 马超飞,马建文,布和敖斯尔. USLE 模型中植被覆盖因子的遥感数据定量估算[J]. 水土保持通报,2001,21(4):6-9.
- [10] 孙久虎,刘晓萌,李佑钢,等. 北运河地区植被覆盖的遥感估算及变化分析[J]. 水土保持研究,2006,13(6):97-99.
- [11] Qi J, Marsett R C, Moran M S, et al. Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area [ J ]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000,105(1/3):55-68.
- [12] 牛宝茹,刘俊荣,王政伟. 干旱区植被覆盖度提取模型的建立[J]. 地球信息科学,2005,7(1):84-86,97-98.
- [13] 杨胜天,李茜,刘昌明,等. 应用“北京一号”遥感数据计算官厅水库库滨带植被覆盖度[J]. 地理研究,2006,25(4):570-578.
- [14] 丁艳梅,张继贤,王坚,等. 基于 TM 数据的植被覆盖度反演[J]. 测绘科学,2006,31(1):43-45.
- [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] 李晓琴,孙丹峰,张凤荣. 基于遥感的北京山区植被覆盖景观格局动态分析[J]. 山地学报,2003,21(3):272-280.
- [17] 张杰,赵冰,杨伟,等. 基于 ArcGIS 的淮河流域大别山区土壤侵蚀特征研究[J]. 水土保持通报,2009,29(1):110-112.
- [18] 李爽,冯文峰,钱乐祥. 北京一号卫星影像的数据融合研究[J]. 地域研究与开发,2008,27(3):121-124.
- [19] Bradley C R. The influence of canopy green vegetation fraction on spectral measurements over native tall grass prairie[J]. Remote Sensing of Environment, 2002,81(1):129-135.
- [20] 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.

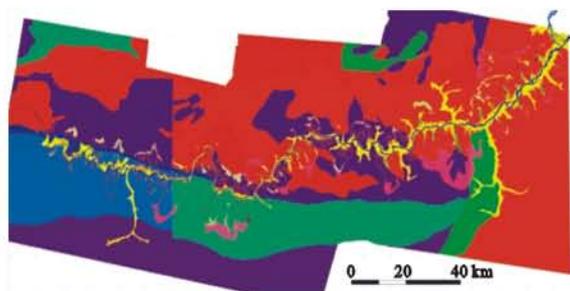
(上接第 92 页)

- [2] 崔灵周,李占斌,朱永清,等. 流域侵蚀强度空间分异及动态变化模拟研究[J]. 农业工程学报,2006,22(12):17-22.
- [3] 潘成忠,上官周平. 不同坡度草地含沙水流水力学特性及其拦沙机理[J]. 水科学进展,2007,18(4):490-495.
- [4] 蔡强国,朱远达,王石英. 几种土壤的细沟侵蚀过程及其影响因素[J]. 水科学进展,2004,15(1):11-18.
- [5] 王文龙,雷阿林,李占斌,等. 黄土丘陵区土壤侵蚀链垂直带水沙流空间分布[J]. 水科学进展,2004,15(1):24-28.
- [6] 许炯心,孙季. 无定河水土保持措施减沙效益的临界现象及其意义[J]. 水科学进展,2006,17(5):610-615.
- [7] 柯克比 M J, 摩根 R P C. 土壤侵蚀[M]. 王礼先,吴斌,洪惜英,译. 北京:水利电力出版社,1987.
- [8] 陈奇伯. 花岗岩坡面降雨产流沙相互关系的研究[J]. 水土保持科技情报,1997(4):34-36.
- [9] 于国强,李占斌,张霞,等. 野外模拟降雨条件下径流侵蚀产沙试验研究[J]. 水土保持学报,2009,23(4):10-14.
- [10] 邵晓梅,严昌荣. 黄河流域半湿润偏旱区土壤水分动态变化规律研究[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(2):91-95.
- [11] 郑子成,何淑勤,吴发启. 侵蚀过程中地表糙度变化特征的研究[J]. 水土保持学报,2003,17(5):165-168.
- [12] 王辉,王全九,邵明安. 前期土壤含水量对坡面产流产沙特性影响的模拟试验[J]. 农业工程学报,2008,24(5):65-68.
- [13] Ben-Hur M, Lado M. Effect of soil wetting conditions on seal formation, runoff and soil loss in arid and semi-arid soils: a review[J]. Australian Journal of Soil Research, 2008,46(3):191-202.
- [14] Bissonnais Y L, Cerdan O, Lecomte V, et al. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion[J]. Catena, 2005,62(2):111-124.



- 泥石流沟道线
- 泥石流流域范围
- 主干水系
- 崩塌滑坡物源
- 寒冻弱风化物源
- 寒冻强风化物源
- 沟道物源

附图1 雅鲁藏布江林芝—加查段沿线泥石流沟及源地物源分布(以DEM为底图)

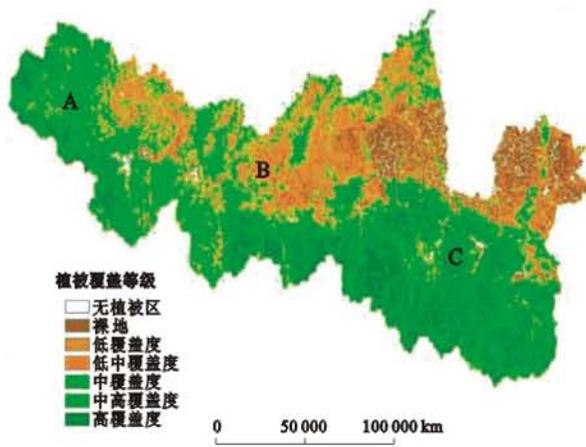


- 主干水系
- 千枚岩
- 千枚岩与石英砂岩
- 沟道堆积物源
- 郎县混杂岩
- 片麻岩
- 泥石流流域范围
- 寒冻弱风化物源
- 寒冻强风化物源
- 闪长岩
- 花岗岩
- 砾岩
- 第四纪
- 板岩与石英砂岩
- 崩塌滑坡物源

附图2 雅鲁藏布江林芝—加查段沿线地层岩性与物源分布的关系

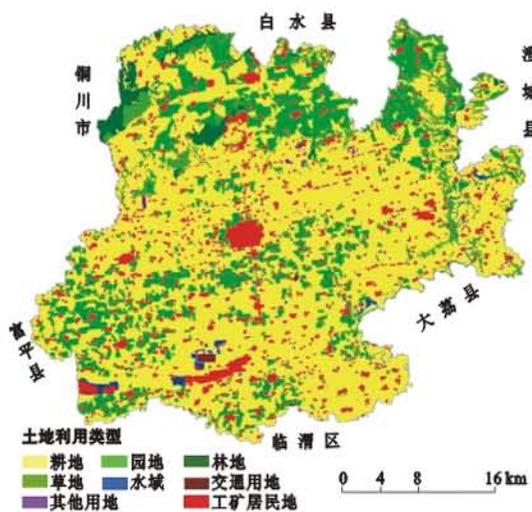


附图3 淮河上游流域遥感标准假彩色合成示意图

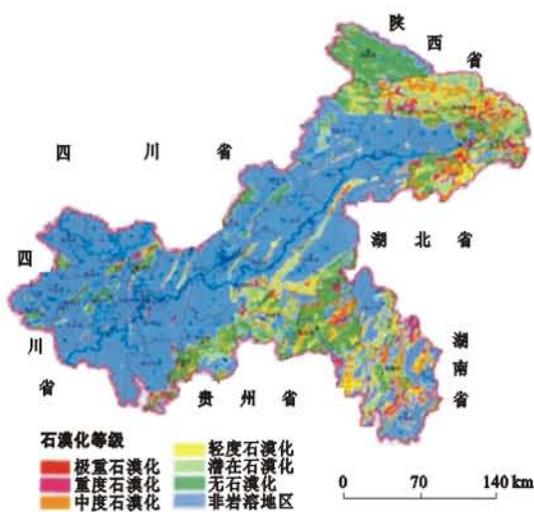


- 无植被区
- 裸地
- 低覆盖度
- 低中覆盖度
- 中覆盖度
- 中高覆盖度
- 高覆盖度

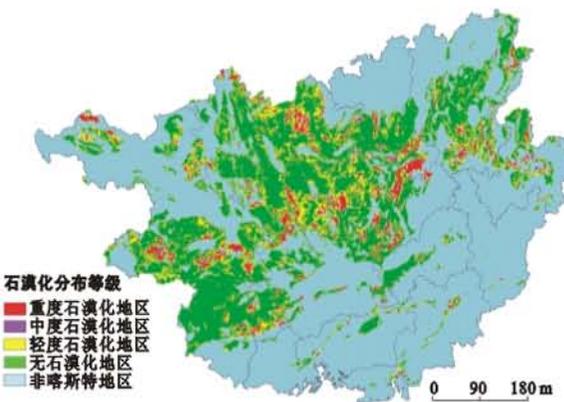
附图4 淮河上游流域植被覆盖度等级分布



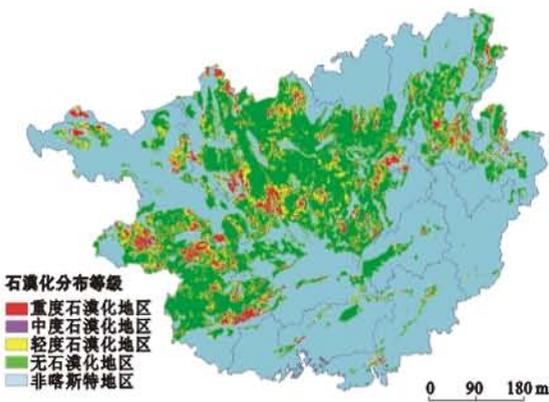
附图5 陕西省蒲城县土地利用现状



附图6 2006年重庆市岩溶地区石漠化分布



附图7 1998年广西壮族自治区喀斯特石漠化分布



附图8 2003年广西壮族自治区喀斯特石漠化分布