

数码照相法估算植被盖度

张学霞 朱清科 吴根梅 孙丹珠

(北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室)

摘要: 植被盖度是表征生态系统特征的重要参数之一, 其准确测度对于分析土壤侵蚀强度、生态环境现状具有重要意义。该文选择黄土高原退耕还林还草区野外测量的 25 个典型样方, 探讨了数码照相法估算植被盖度的模型和方法, 提出了中心投影引起的边缘畸变问题和植被信息识别问题的有效解决方案。前者采用控制点几何校正的方法解决, 后者基于目视判读、统计汇总红(R)、绿(G)、蓝(B)三基色的 DN (digital number)值分布规律, 采用编程方式解决。研究表明, 植被信息的三基色组成分别符合 $DN_C > DN_R > DN_B$ 、 $DN_C > DN_B > DN_R$ 和 $DN_B > DN_R > DN_C$ 3 种规律, 非植被信息的三基色构成遵循 $DN_R > DN_C > DN_B$ 的规律, 且采用上述规律, 编程得到草地样方的植被盖度精度较高。可见, 该文提出的估算植被盖度的数码照相法可移植到数码相机中, 具有明显的应用价值。

关键词: 数码照相法; 植被盖度; 边缘畸变; 光谱信息

中图分类号: S757.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1522(2008)01-0164-06

ZHANG Xue-xia; ZHU Qing-ke; WU Gen-mei; SUN Dan-zhu. **Vegetation coverage assessment by digital photos.** *Journal of Beijing Forestry University* (2008) 30(1) 164-169 [Ch, 8 ref.] Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating, School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, 100083, P.R. China.

Vegetation coverage is one of the important parameters denoting ecosystem characteristics, so it is important to analyze the intensity of soil erosion and identify the condition of environment for acquiring vegetation coverage of the study area. The paper chooses twenty-five key meadow sample plots in the Loess Plateau, then discusses the estimation model and estimation method of vegetation coverage by the pictures taken by the digital camera, and puts forward the effective solution for edge distortion problem caused by the central projection and vegetation information recognition problem. The former problem adopted geometry correction method by the control points, and the latter problem was solved by visual interpretation to take statistics for the distributing laws of three primary color DN (digital number) values of red(R), green(G) and blue(B). Finally, it is concluded that the vegetation spectral characteristics obey three laws of $DN_C > DN_R > DN_B$, $DN_C > DN_B > DN_R$ and $DN_B > DN_R > DN_C$, the non-vegetation spectral characteristics obey the law of $DN_R > DN_C > DN_B$. And vegetation coverage values estimated by digital photo method have high precision. So the program of the vegetation coverage estimation by digital photos can be transplanted to the digital camera, and it has obvious application values.

Key words method of taking photos by digital camera; vegetation coverage; edge distortion; spectral information

植被是陆地生态系统的主要组份, 是生态系统变化的指示器。植被盖度作为植被生长状况的直观量化指标, 在水文、气象、生态等方面的区域、全球性问题研究中起着越来越重要的作用。因此, 植被盖

度测算方法研究引起相关学者的广泛关注。根据测算工具的不同, 植被盖度有简单目测估算^[1]、仪器测量计算、遥感解译分析^[2-3] 3 种方法。根据测量平台的的不同, 植被盖度有地面测算和高空测算两种。其

收稿日期: 2006-11-17

<http://www.bjfujournal.cn>, <http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目: 国家自然科学基金项目(40701183、40471097)、“973”国家重点基础项目(2002CB111503)。

第一作者: 张学霞, 博士, 讲师。主要研究方向: 生态环境遥感。电话: 010-62336071 Email: xuexiazhang@yeah.net 地址: 100083 北京林业大学水土保持学院。

中,地面测算包括目测估算法、概率计算法和仪器测量法 3 种^[4-5]。目前,随着数码相机精度的不断提高,价格越来越低廉,作为近景摄影测量重要手段的数码相片成像应用愈加广泛,有效推动了植被盖度地面测量的发展,并成为遥感等现代测量的可靠辅助和检验手段。

但是,数码相机成像法测算植被盖度面临的若干技术难题制约了数码相片的应用。如中心投影导致边缘形变问题、植被类别辨识问题。关于边缘几何畸变问题,常规处理方法是只裁减相片中心子区,舍弃边缘变形区域^[6]。但是,切取相片子区的方法减少了野外采集样方的尺寸,势必会增加野外采样的数量,影响了植被盖度测算结果的精度。关于植被类别辨识问题,常规的处理方法是采用人工判读和借助 Photoshop、ERDAS 等图像处理软件^[7-8]进行影像分类。人工目视判读费时费力、速度慢;影像计算机分类的方法流程繁杂,需要专业人员的参与。用上述常规处理方式识别植被信息,大大限制了数码照相法估算植被盖度的应用。

因此,开发一种基于数码照片的简单、实用、高精度的估算植被盖度方法,成为地面植被盖度测量、遥感大面积估算植被盖度地面基础数据的获取、仪器测算植被盖度精度检验等科研工作的重要任务。

1 研究方法

1.1 估算模型

地面样方中,所有像元均是由植被和非植被两部分端元组成,像元的光谱特征由这两部分端元线性加权而成。数码相机所拍摄的照片是由红(R)、绿(G)、蓝(B)三基色构成的。因此,相片中的三基色信息也是由植被端元和非植被端元的三基色信息线性加权而成,植被和非植被的权重是各自的面积在样方中所占的比率。因此,植被盖度就可以看作是植被端元在样方中的权重。

根据植被盖度的定义,盖度是样地中全部植物个体的地上部分垂直投影面积所占的百分数,即为图像中植被所占的像元个数占样方总像元个数的百分比。设数码相片中的样方光谱信息为 S ($S = S_R + S_G + S_B$),该信息可以表达为由绿色植被部分所贡献的信息 S_v ($S_v = S_{vR} + S_{vG} + S_{vB}$)和由非植被覆盖部分所贡献的信息 S_s ($S_s = S_{sR} + S_{sG} + S_{sB}$)两部分组成,即:

$$S = \begin{bmatrix} S_R \\ S_G \\ S_B \end{bmatrix} = S_v + S_s = \begin{bmatrix} S_{vR} \\ S_{vG} \\ S_{vB} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S_{sR} \\ S_{sG} \\ S_{sB} \end{bmatrix} \quad (1)$$

设样方中有植被覆盖的面积比例为 f_c ,则该样

方的植被盖度,则非植被覆盖的面积比例为 $1 - f_c$ 。假设植被端元的光谱信息为 S_{veg} ,则样方中植被部分所贡献的信息 S_v 可以表示为 S_{veg} 与 f_c 的乘积:

$$S_v = \begin{bmatrix} S_{vR} \\ S_{vG} \\ S_{vB} \end{bmatrix} = f_c S_{veg} = f_c \begin{bmatrix} S_{vegR} \\ S_{vegG} \\ S_{vegB} \end{bmatrix} \quad (2)$$

同理,如果假设非植被端元的光谱信息为 S_{soil} ,那么样方中非植被部分所贡献的信息 S_s 可以表示为 S_{soil} 与 $(1 - f_c)$ 的乘积:

$$S_s = \begin{bmatrix} S_{sR} \\ S_{sG} \\ S_{sB} \end{bmatrix} = (1 - f_c) S_{soil} = (1 - f_c) \begin{bmatrix} S_{soilR} \\ S_{soilG} \\ S_{soilB} \end{bmatrix} \quad (3)$$

将式(2)与(3)代入式(1),可得:

$$S = f_c S_{veg} + (1 - f_c) S_{soil} \quad (4)$$

对式(4)进行变换,可得计算植被盖度的公式:

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

因此,只需知道样方、植被端元、非植被端元的红、绿、蓝三基色信息,根据式(5)即可估算样方的植被盖度。

1.2 估算方法

如前所述,数码照相法估算植被盖度面临边缘几何畸变等问题。而根据式(5),在相片盖度求算过程中,要求相片各个部位的像素所代表的地面大小是相同的,因此,畸变校正是植被盖度求算的第一步(图 1)。盖度求算的第二步是纯植被像素和纯非植被像素的光谱信息的识别,第三步是根据植被盖度测算式(5)计算样方植被盖度值。具体估算流程如图 1 所示。



图 1 植被盖度测算流程图

FIGURE 1 Flowchart of estimating vegetation coverage

1.2.1 畸变校正

根据遥感近景摄影测量的原理,可知数码照相采用的中心投影(图 2)在相片的各个部分,比例尺不同,像主点的比例尺最大,为主比例尺,距离像主

点(o')越近的像素(a, c),其比例尺越接近相片的主比例尺;越偏离像主点的像素(b, d),其比例尺越小、越远离相片的主比例尺。像素比例尺的不同导致像元大小与地面大小对应不准确、地物形状不规则变化等几何畸变,其畸变程度随着相片变形、扭曲程度而变化。

因此,必须通过校正处理才能消除相片边缘像素几何畸变,使相片中所有像素均代表地面相同大小的区域。经过畸变校正,可以消除由于植被端元在样方中分布的不均匀而引起样方植被盖度计算的误差。该畸变校正工作可以在 ENVI、ERDAS、PCI 等遥感图像处理软件中完成。

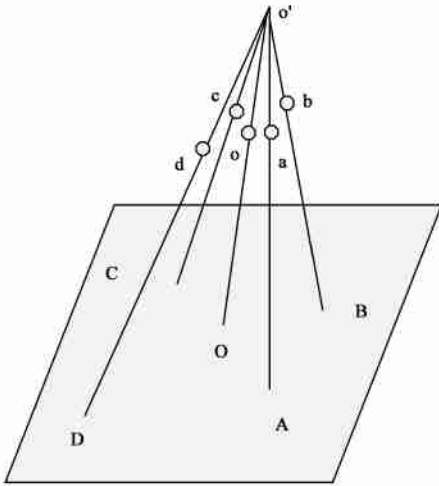


图2 中心投影示意图

FIGURE 2 Sketch map of central projection

1.2.2 光谱信息识别

构成植物体的器官有根、茎、叶、花、果、种6种,而包括叶、茎、花、果4个部分的地上器官是数码照相法识别植被的关键。据此,在详细观测多幅野外照片的基础上,根据色彩信息的不同,将植被分为叶(绿叶、黄叶)、茎、花(紫花、蓝花)、果等;将非植被端元分为裸露土地和枯枝落叶。据此,分别在相片上选取若干植被部位的感兴趣区,采用统计汇总方法,研究植被像素红、绿、蓝三基色的信息(S_{veg})。同样,采用选取感兴趣区的分析方法,研究非植被区三基色的色彩信息(S_{soil})。

根据数字图像色彩构成原理,地物颜色(digital number, DN)由红(R)、绿(G)、蓝(B)三基色组成,三基色的范围都在0~255之间。不同的地物,其颜色不同的原因正是因为构成各种地物的R、G、B三基色DN值不同。在获取了各种地物的DN值之后,分别研究各个地物(植被和非植被)R、G、B三基色DN值之间的组合规律,据此,即可根据光谱特征,采用式(5)进行样方植被盖度的测算。

1.2.3 植被盖度求算

如前所述,在植被和非植被光谱信息识别的基础上,根据式(5),采用相应的计算机语言(如C语言)编写程序,实现植被盖度测算算法。在算法的实现过程中,将非植被所占的像元赋值为0,植被所占的像元赋值为1。根据植被盖度的定义,统计样方中数值为1的像元占样方总像元数的百分比,所得的值就是该样方的植被盖度 f_c ;或者是统计样方中数值为0的像元占样方总像元数的百分比,即为 $1-f_c$ 。

2 案例分析

2.1 数据和材料

2005年8月11日-17日,项目组在陕西省吴起县进行了退耕还林、还草的水土保持综合效益评估的前期调查工作。根据研究区的地形和土地利用现状,在吴起县各个乡镇中,选取有代表性的25个草地样方,进行草地盖度提取工作。野外调查采样方主要位于城关镇、周湾乡、长城乡、庙沟乡等乡镇,具体位置见图3。

本研究采用 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的标准样方铁框和卷尺的刻度进行相片的投影校正,以消除相片边缘像素几何畸变。在采样过程中,采用 1 m^2 大小的正方形铁框放在草地样方中,采用铁框的4个角及中心点位置为校准点,进行数码相片几何校正,以解决相片由于中心投影导致的边缘形变问题。具体做法是:以GPS进行野外定位,利用传统的样方框($1\text{ m} \times 1\text{ m}$)限定样方,利用罗盘测算样方坡度,用卷尺作为消除相片形变、保证垂直条件的参考,进行数码相机拍照,同时记录样方所在的地形坡度、植被类型、长势等信息。



图3 野外调查样方位置分布图

FIGURE 3 Distribution of quadrat in field investigation

2.2 结果与分析

2.2.1 畸变校正

如前所述,数码相机盖度估算的第一步是畸变校正,该工作在 ENVI 遥感图像处理软件中实现。校正过程中,选取照片中 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 铁框架的 4 个顶点以及中心点共 5 个点为校正点。将这 5 个点的坐标分别定为: (1, 1 000)、(1 000, 1 000)、(1 000, 1)、

(1, 1)、(500, 500)。校正前的相片如图 4a 所示,铁框为正方形,但在相片中却发生角度形变,夹角表现为钝角或锐角,这是对实际场景夸大或缩小的结果。校正后的相片如图 4b 所示,铁框恢复正方形形态,4 个角都呈直角。然后,将校正好的相片按照铁框的范围进行裁减,截取相应的样方图像,用于植被光谱信息识别和植被盖度的求算。

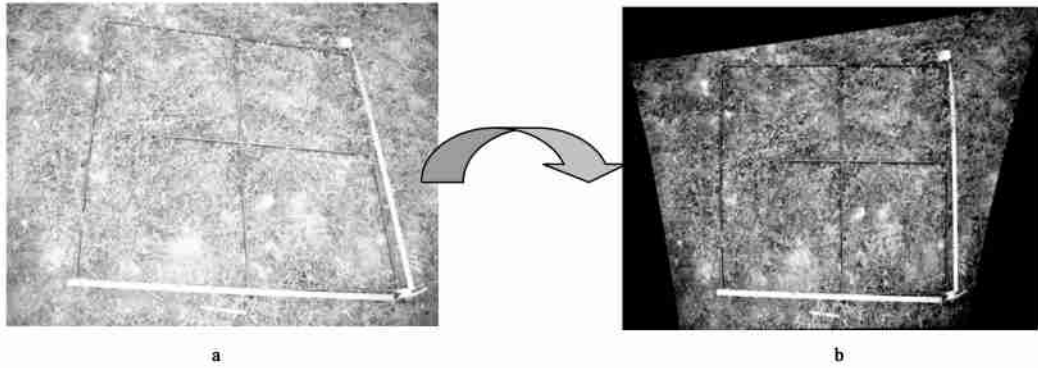


图 4 相片校正前、后的比较

FIGURE 4 Comparison of picture before and after correcting

2.2.2 信息识别

光谱信息识别是植被盖度估算的第二步。植物地上部分由叶(绿叶、黄叶)、茎、花(紫花、蓝花)、果(红果)4 部分组成,非植被覆盖区由裸地和枯枝落叶两部分组成(表 1),可在相片中采用目视判读的方法进行。在 ENVI 软件中,采用感兴趣区(region of interesting, ROI)的方法选取 ROI 区,分别统计各像素 R、G、B 三基色的 DN 值,统计结果见表 2。为了使光谱信息统计结果的代表性更强,在每张相片中,对每个构成要素分别选取 5~20 处的 ROI 区,每个 ROI 区域中包含 10~20 个像素。

表 1 不同地物的红、绿、蓝三基色之间的关系

TABLE 1 Relationship of three primary colors of red, green and blue for different objects

地物类别	红、绿、蓝三波段之间的关系	光谱信息规律
绿叶	绿波段 > 红波段 > 蓝波段	
草叶	绿波段 > 红波段 > 蓝波段	
黄叶	绿波段 > 红波段 > 蓝波段	绿波段 > 红波段 > 蓝波段
植被覆盖区	草茎	绿波段 > 红波段 > 蓝波段
	果	绿波段 > 红波段 > 蓝波段
墨绿色叶	绿波段 > 蓝波段 > 红波段	绿波段 > 蓝波段 > 红波段
紫花	蓝波段 > 红波段 > 绿波段	蓝波段 > 红波段 > 绿波段
蓝花	蓝波段 > 红波段 > 绿波段	
非植被覆盖区	裸地	红波段 > 绿波段 > 蓝波段
	枯枝落叶	红波段 > 绿波段 > 蓝波段

考虑到 ROI 中,要素信息三基色的 DN 值存在细微差别,为了确保光谱信息规律与像元数量没有关系,在寻找植被信息色彩构成规律时采取了两种

表 2 某一相片中某一叶片 ROI 的像素原始值及基本统计值

TABLE 2 Pixel initial values and the basic statistical values of ROI for a leaf in a certain picture

原始值	像元值	像元个数	合计	百分比/%	累积百分比/%
红波段	136	1	1	8.33	8.33
	137	0	1	0.00	8.33
	172	1	12	8.33	100.00
绿波段	179	1	1	8.33	8.33
	196	2	12	16.67	100.00
	100	2	2	16.67	16.67
蓝波段	125	1	12	8.33	100.00
	基本统计值	最小值	最大值	平均值	标准偏差
红波段	136	172	152.83	11.73	
绿波段	179	196	186.75	5.69	
蓝波段	100	125	109.58	7.90	

方法。一种是根据每个 ROI 中 R、G、B 三基色的平均 DN 值为依据。另一种是以每个 ROI 中 R、G、B 三基色 DN 值的加权平均值为依据。具体而言,是将三基色的 DN 值与该基色所占有的像元数相乘,再将所有基色得到的值相加,除以该基色中像元的总数,得到的就是该 ROI 中该基色的加权平均值。然后,采用统计分析方法,得到各要素三基色 DN 平均值或加权平均值分布的特征规律。

根据三基色 DN 值的平均值和加权平均值,采用自下而上的统计汇总、对比分析,发现植被光谱信

息和非植被光谱信息遵循如表 1 所示规律: 植被构成要素中, 由于色彩的差别, 植被信息的三基色组成具有 3 种组成, 分别为 $DN_C > DN_R > DN_B$ 、 $DN_C > DN_B > DN_R$ 和 $DN_B > DN_R > DN_C$; 非植被信息的三基色构成遵循 $DN_R > DN_C > DN_B$ 的规律。根据估算方法可知, 据植被和非植被光谱信息规律的分析, 可得到样方的植被盖度信息。

2.2.3 盖度估算

植被盖度估算是在畸变校正和光谱信息识别的基础上进行的。根据盖度估算方法的分析, 本研究采用统计植被像元个数计算 f_c 和统计非植被像元个数计算 $1-f_c$ 两种方法求算植被盖度 f_c 。上述两种方法的计算公式如下:

$$f_c = n_{veg} / (n_{veg} + n_{soil}) \times 100\% \quad (6)$$

$$f_c = (n - n_{soil}) / n \times 100\% \quad (7)$$

式中, f_c 为植被盖度, n 为样方像元总和, n_{veg} 为植被像元总和, n_{soil} 为非植被像元总和。

如图 4 所示, 样方中除了植被、裸地、枯枝落叶外, 铁框对样方的光谱信息也有一定的贡献, 式(6)中总像元没有包括样方中的铁框像元, 而式(7)总像元中包括了铁框像元, 并将铁框像元计入植被像元数目中。根据式(6)、(7), 项目组采用 C 语言编程实现界面如图 5 所示, 计算结果如表 3 所示。

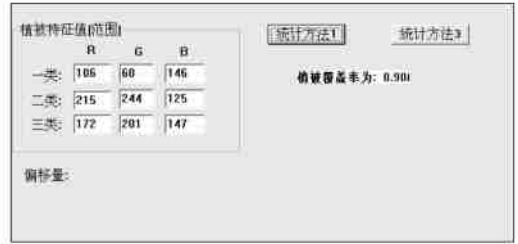


图 5 C 程序计算植被盖度的界面

FIGURE 5 Interface of calculating the vegetation coverage by C program language

表 3 植被盖度估算结果

TABLE 3 Assessment results of vegetation coverage

照片编号	式(6)计算的盖度	式(7)计算的盖度	目视估算值	照相与目视差值	照片编号	式(6)计算的盖度	式(7)计算的盖度	目视估算值	照相与目视差值
0017	45	47	45	0	0047	42	45	60	-17
0018	45	47	45	0	0051	45	46	60	-16
0019	46	48	60	-14	0053	44	47	35	10
0022	46	47	40	5	0060	43	46	40	4
0023	42	45	35	8	0061	45	47	60	-15
0024	44	46	35	9	0066	45	47	45	0
0025	42	44	43	-1	0067	42	44	65	-23
0035	46	48	45	1	0068	76	83	85	-4
0037	45	47	45	0	0069	41	43	60	-19
0039	45	47	55	-10	0071	45	47	50	-5
0041	43	45	43	0	0072	43	45	45	-2
0042	44	46	40	4	0073	44	45	45	-2
0043	42	45	40	3	平均	43	46	49	-5

由表 3 可看出, 铁框对植被盖度的影响较为稳定, 其平均值为 0.02。根据植被与非植被的光谱信息规律可知, 非植被的光谱特征规律性更强, 因此, 式(7)的计算更为快捷、简便。所以, 在植被盖度估算中, 采用式(7)计算所得结果减去铁框的影响 0.02, 即为植被盖度估算值, 该值与目视估算平均差值仅为 0.05(表 3)。

将照相法与目视估算的结果进行对比发现, 照相估算法得到的盖度数值相对偏低, 目视估算法得到的盖度值相对偏高。根据已有的研究可知^[1], 目视估算法在中等植被盖度时, 估计值比真值偏高, 可见, 数码照相法得到的植被盖度值比较可信。

3 结论与讨论

综上所述, 采用数码照相法, 可以非常方便地对采用遥感数据估算的植被盖度进行验证, 时效性高, 可操作性较强, 其研究对于获取全球及区域气候数值模型中所需要的重要生态气候参数、改进全球及区域生态模拟模型、提高土壤侵蚀预报精度、进一步了解碳源和碳汇、地表植被蒸腾和土壤水分蒸发水量平衡运行机理具有重要意义。本研究的创新点主要有以下两点:

- 1) 常规解决相片中心投影, 造成相片边缘像素存在几何畸变的方式是以牺牲数据量为代价的, 本

研究采用选取控制点进行几何校正的方法,使照片中心和边缘位置同样大小的像素所代表地面的实际面积相同,最大限度地利用野外采集的数据。

2) 常规盖度识别采用人工判读和影像分类的方法进行,必须借助繁杂的图像处理软件才能完成。本研究以黄土高原退耕还林、还草的典型地区为例,开发出一套程序包,可以直接采用计算机处理从野外获取的数码照片,得到样方的植被盖度。该程序包稍加改造,可以移植到数码相机中,具有较大的应用价值。

植被和非植被光谱信息组合规律是在黄土高原典型退耕还林、还草地区得到的,且仅采用夏季样方,是否在其他区域、其他季节适用,还需要经过更多大样本数据的验证、补充和完善。此外,该方法是针对草地盖度开发的,如果应用到乔灌木林地郁闭度的监测,考虑天空和地面的光谱信息不同,还需要大量样本的实践、验证。因此,该数码照相法估算植被盖度的方法还有待于进一步完善,以便在更大区域推广使用。

致谢 北京林业大学的秦伟、闫继斌、柳丽娜、赖亚飞等同学和吴起县退耕还林办的吴宗凯主任、孙广亮同志在野外采样过程中提供大量帮助,特此谢忱。

参 考 文 献

[1] 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.
ZHANG W B, FU S H, LIU B Y. Error assessment of visual estimation plant coverage[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2001, 37(3): 402-408.

- [2] WITTICH K P, HANSING O. Area-averaged vegetative cover refraction estimated from satellite data [J]. *International Journal of Biometeorology*, 1995, 38(3): 209-215.
- [3] 顾祝军, 曾志远. 遥感植被盖度研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(2): 18-21.
GU Z J, ZENG Z Y. Overview of researches on vegetation coverage in remote sensing [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(2): 18-21.
- [4] 焦菊英, 王万中, 李靖. 黄土高原林草水土保持有效盖度分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 608-612.
JIAO J Y, WANG W Z, LI J. Effective cover rate of woodland and grassland for soil and water conservation [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 608-612.
- [5] 张云霞, 李晓兵, 陈云浩. 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, 18(1): 85-93.
ZHANG Y X, LI X B, CHEN Y H. Overview of field and multi-scale remote sensing measurement approaches to grassland vegetation coverage [J]. *Advances in Earth Science*, 2003, 18(1): 85-93.
- [6] 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.
LI M M, WU B F, YAN C Z, et al. Estimation of vegetation fraction in the upper basin of Miyun Reservoir by remote sensing [J]. *Resources Science*, 2004, 26(4): 153-159.
- [7] 马俊海, 刘丹丹. 像元二分模型在土地利用现状更新调查中反演植被盖度的研究[J]. 测绘通报, 2006(4): 13-16.
MA J H, LIU D D. On the application of dimidiate pixel model to inversion of vegetation coverage in land-use investigation [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2006(4): 13-16.
- [8] WHITE M A, ASNER G P, NEMANI R R, et al. Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystem: Digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 74(1): 45-47.

(责任编辑 李 契)