

基于 SPOT5 影像的郁闭度反演方法

高云飞¹, 李智广², 杨胜天¹, 刘宪春², 曹 勇³

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

2. 水利部水土保持监测中心, 北京 100055; 3. 黄河水土保持绥德治理监督局, 陕西 绥德 718000)

摘 要: 为探讨区域植物措施因子在林地的赋值问题, 以重庆市云阳县为研究区, 以 58 个单元实地林地地块郁闭度调查数据为基础, 计算了对应地块同期 SPOT5 影像各波段 DN(灰度)均值和 DN 值标准差, 分析了 SPOT5 影像在林地不同郁闭度下的稳定性。随机选取 38 个单元调查郁闭度数据, 与对应地块同期 SPOT5 影像各波段 DN 均值进行回归、相关性分析, 建立了不同波段组合反演郁闭度的方法。利用剩余 20 个单元的调查郁闭度数据进行精度检验。结果表明: SPOT5 影像红外、红、绿波段 DN 均值在不同郁闭度林地地块表现稳定, 最大偏离分别为 13.8%, 15.65%, 24.52%, 偏离平均值分别为 10.11%, 10.94%, 17.78%; 红、绿波段是反演郁闭度的最佳波段组合, 拟合方程判定系数 R^2 为 0.66。精度检验结果表明, 反演结果与实地调查数据正、负向最大偏差为 +16.92%, -16.06%, 偏差均值为 -2.08%。按 10% 的分级统计, 偏离均小于 15%, 总体精度较高。在反演结果误差为 $\pm 20\%$ 时, 植物措施因子赋值的最大误差 $< 10\%$, 可作为区域土壤侵蚀监测时植物措施因子计算的参考。

关键词: SPOT5; 郁闭度; 反演; 植物措施因子

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)02-0267-04

Study on Canopy Density Retrieval Method from SPOT5

GAO Yun-fei¹, LI Zhi-guang², YANG Sheng-tian¹, LIU Xian-chun², CAO Yong³

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. The Monitoring Center of Soil and Water Conservation, MWR, Beijing 100053, China;

3. Suide Governs Surveillance Bureau of Yellow River Conversation of Water and Soil, Suide, Shaanxi 718000, China)

Abstract: In order to determine the value of regional factors of biological-control in forest, Yunyang County in Chongqing was selected as the study area. On the basis of investigated canopy density data from 58 forest blocks, we calculated the average and standard deviation of digital number (DN) for each band of corresponded SPOT5, then analyzed the stability of SPOT5 in various forest canopy density. Regression and correlation analysis were taken between 38 different random selected canopy density data and corresponding average DN values of each band for SPOT5, and we established the method of retrieving canopy density by combining different bands. The other 20 investigated canopy density data were applied for accuracy test. Our results showed, the average DN values in infrared red, red and green bands of SPOT5 manifested stable over various canopy density forest blocks, their maximum deviation are 13.8%, 15.65%, 24.52%, and their average deviation are 10.11%, 10.94%, 17.78%; red and green bands are the optimal combination for retrieving canopy density, their determination coefficient of fitting equation is 0.66. The accuracy test results showed, the maximum positive and negative deviation between retrieving results and investigation data is +16.92%, -16.06%, with an average deviation of -2.08%. According to 10% graduation statistics, the deviation of all the results were less than 15%, the general accuracy is relatively high. While the error of retrieving result was 20%, the maximum error of corresponding factors of biological-control was less than 10%, which can be used as the reference of calculating factors of biological-control in monitoring regional soil erosion.

Key words: SPOT5; canopy density; retrieval; factors of biological-control

收稿日期: 2011-10-26

修回日期: 2011-12-17

资助项目: 中华人民共和国国务院第一次全国水利普查项目

作者简介: 高云飞(1978—), 男, 吉林省东辽县人, 博士研究生, 主要从事遥感和水土保持研究。E-mail: gyfcsdn@mail.bnu.edu.cn

通信作者: 杨胜天(1965—), 男(彝族), 贵州省贵阳市人, 博士, 教授, 主要从事水文水资源遥感、环境遥感和地理信息系统研究。E-mail: yangshengtian@bnu.edu.cn

郁闭度是指林冠的垂直投影面积与林地面积之比^[1],传统上郁闭度用十分法表示,由于其应用范围的扩大和对准确性要求的增加,郁闭度表示时可保留两位小数,也可以用百分数表示^[2]。郁闭度是 CSLE (Chinese Soil Loss Equation) 模型计算有林地植物措施因子的主要依据^[3],也是林业、生态、环境等学科中的重要指标。在坡面、小流域范围,一般通过实测确定郁闭度,测定方法有目测^[4]、Moosehorn^[5]、照片估算等。在大面积的范围上,包括高精度影像判读和高光谱影像估测两种方法。高精度影像判读法是采用航空相片或高分辨率卫星影像,通过目视或微细网点板^[6]等方法确定郁闭度,该方法需要在数据上能够直接识别乔木,对数据分辨率要求高。高光谱估测法是运用变量筛选、回归分析、波段选择、主成分分析等方法,结合实测数据建立多元回归模型来估算郁闭度^[7-8]。高光谱数据源匮乏,获取难度较大。总体而言,两种估测方法还不成熟^[2],实用性差。而目前国内遥感研究集中于植被覆盖度的较多^[9-11],针对林地郁闭度的研究尚未见到。本文以重庆云阳县为研究区,基于同期 SPOT5 多光谱影像,结合实地调查数据,建立由影像反演郁闭度的方法。

1 材料与数据

1.1 研究区概况

研究区位于重庆市云阳县(108°24'32"—109°14'51"E,30°35'06"—31°26'30"N),面积 3 649 km²,属长江流域,亚热带季风气候,年均降水量 1 104.3 mm,年均气温 18.4℃,立体气候显著。区内植被类型多样,有乔木 65 科、254 种,森林覆盖率为 42%。按气候、土壤、海拔的差异可分为 3 个林带,北部中、低山亚热带常绿阔叶林带,南部中、低山针阔叶混交林带和中部平行岭谷针阔叶林带。

1.2 基础数据

(1)10 m 多光谱 SPOT5 假彩色影像 1 幅,包括近红外(0.78~0.89 μm)、红(0.61~0.68 μm)和绿(0.49~0.61 μm)三个波段,接收时间为 2009 年 7 月 1 日,img 格式,WGS84 坐标系。

(2)野外调查数据。在全区按 4%密度均匀分布的 1:10 000 比例尺地形图,共 147 幅。为减少野外调查工作量,保证代表性,在每幅地形图网格中心位置附近选择一个面积 0.3~2 km² 的典型闭合小流域作为野外调查单元。2010 年 7—8 月在野外调查单元进行调查,采用目估法手工勾绘郁闭度一致的地块,经数字化后形成野外调查地块范围矢量数据,将郁闭度信息填入地块属性表。因北部森林覆盖率较低,部分野外

调查单元无林地或郁闭度低于 20%,共获得地块 108 个。调查点分布见图 1,详细过程可参考文献[12]。

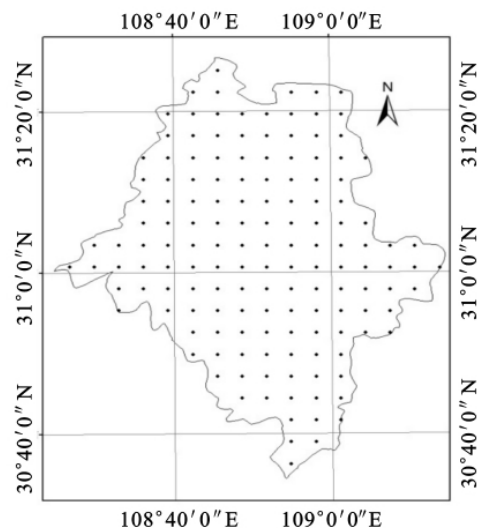


图 1 研究区及野外调查点分布示意图

2 反演方法

2.1 技术路线

将原始 SPOT 影像按 1:10 000 比例尺地形图配准后,利用野外调查地块范围矢量数据裁剪 SPOT 影像,按波段值特征进行去云处理,拟合去云后各地块各波段 DN 均值与实测郁闭度数据,得到应用 SPOT 影像多波段组合反演林地郁闭度的方法,应用部分实测数据进行精度检验,具体技术路线见图 2。

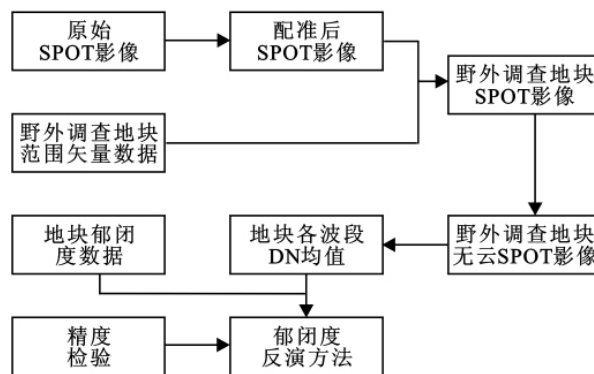


图 2 基于 SPOT5 影像的郁闭度反演技术路线

2.2 数据预处理

(1) SPOT 影像配准裁剪。在 147 幅 1:10 000 比例尺地形图中,按空间分布位置均匀选择 10 幅,在每幅地形图上选择公路交汇处等特征点 3 个,配准原始 SPOT 影像,要求误差小于 1 个像元。在 ArcGIS 中,利用野外调查地块范围矢量数据裁剪 SPOT 影像。

(2) SPOT 影像去云处理。逐地块检查并删除存在云雾、云雾阴影的地块 50 个,剩余无云地块 58 个。以地块为单元,统计经裁剪后 SPOT 影像各波段的 DN 均值和 DN 值标准差。以 DN 均值为 x 轴,

DN 值标准差/DN 均值为 y 轴建立各波段散点图(图 3)。由图 3 可知,在各地块之间,近红外、红、绿波段 DN 值的最大偏离分别为 13.8%,15.65%,24.52%,

偏离平均值分别为 10.11%,10.94%,17.78%,说明 SPOT5 影像的各波段在林地郁闭度一致地块表现稳定,同时也反映出野外地块判断、勾绘准确。

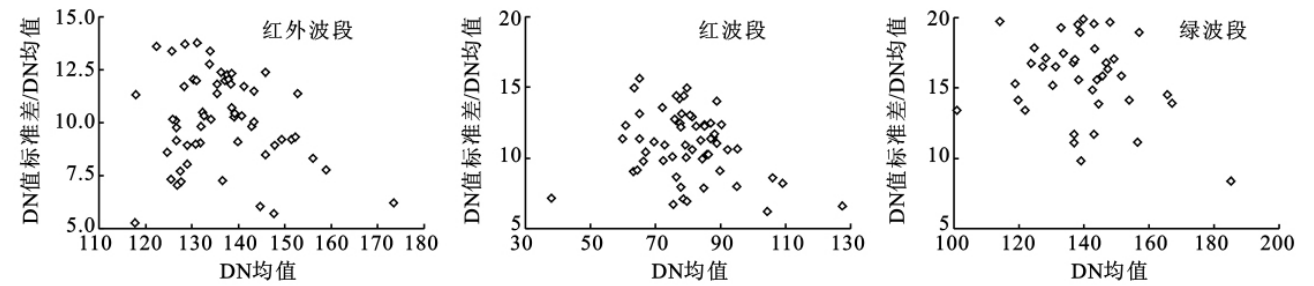


图 3 SPOT5 影像无云地块各波段 DN 值指标统计

2.3 郁闭度反演方法

随机选择 38 个无云地块建立郁闭度反演方程。以地块为单元,在 SPSS 软件中,以郁闭度为因变量,以各波段 DN 均值为自变量,根据最优组合建立多元线性回归方程。设方程表示为:

$$Y=b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3+b_0 \tag{1}$$

式中: Y ——郁闭度; X_1, X_2, X_3 ——近红外、红、绿波段 DN 均值; b_0 ——常数项; b_1, b_2, b_3 ——待定系数。由回归分析可知,公式(1)的判定系数 $R^2=0.667$,校正判定系数 R^2 为 0.638,变量 X_1, X_2, X_3 的偏回归系数分别为-0.845,-7.042,4.96,标准回归系数分别为-0.178,-2.734,2.422。说明由自变量 X_1, X_2, X_3 线性拟合因变量 Y 的效果较好, X_2, X_3 与 Y 的相关性较高, X_1 的相关性较低。因此,以 X_2, X_3 为自变量,重新建立拟合方程,见公式(2):

$$Y=-3.784X_2+3.55X_3+283.824 \tag{2}$$

式中: Y ——郁闭度,判定系数 R^2 为 0.66,校正判定系数 R^2 为 0.641,变量 X_2, X_3 的偏回归系数分别为-7.426,6.114,标准回归系数分别为-2.593,2.135。回归分析结果表明,红、绿波段 DN 均值与郁闭度的相关性较高,拟合效果较好。

2.4 精度检验

应用剩余 20 个无云地块检验郁闭度反演方程的精度。根据公式(2),由 SPOT 影像在各地块分别计算郁闭度,统计反演结果均值与实地调查数据对比。郁闭度的正、负向最大偏差为+16.92%,-16.06%,偏差均值为-2.08%。根据实地调查郁闭度分级统计反演精度,各级计算郁闭度值偏离均小于 15%(详见表 1),模拟结果良好。

3 讨论

郁闭度反演的关键问题是乔木冠层与地面其他类型的区分。在物理结构上,乔木因有树干及多层枝叶存在,透光率低,反射率较为单一稳定,而乔木下地

物往往混杂多种类型,反射率复杂且不稳定,在地面覆盖率低,有裸土、沙石存在时,反射率区别尤为明显。近红外波段对植被的类别、密度、生物量、长势变化敏感,是植物通用波段;而红波段在区分植被类型、覆盖度等方面的同时,对裸露地表、土壤、岩性、地层、构造、地貌、人文特征等也可提供丰富的信息;绿波段在识别植被类型和评价生产力的同时,对沙洲、沿岸沙地、污染研究效果更好^[13]。因此,同时使用三个波段建立郁闭度的反演方法判定系数 R^2 达到 0.667,而使用红、绿波段建立郁闭度的反演方法判定系数 R^2 仍可达到 0.66,因此红、绿组合波段是反演郁闭度的最佳波段。

表 1 调查郁闭度与计算郁闭度精度统计

实测郁闭度/%	计算郁闭度误差均值/%
20~30	13.72
30~40	3.85
40~50	-11.00
50~60	-8.17
60~70	-11.37
>70	-11.74

表 2 郁闭度误差为±20%时植物措施因子赋值误差统计

郁闭度/ %	地表覆盖度/%					
	0	20	40	60	80	>95
20~30	6.09	5.60	3.31	3.03	0	0
30~40	6.04	5.33	3.36	1.54	0	0
40~50	6.48	5.94	3.42	3.13	0	0
50~60	6.43	5.63	3.48	1.56	7.69	0
60~70	6.37	5.80	3.54	1.59	7.69	0
70~80	6.28	5.97	3.60	1.59	8.33	0
80~90	6.50	5.61	3.67	1.61	8.33	0
>90	6.40	5.79	2.78	1.61	0	0

郁闭度的高低反映了乔木冠层降低雨滴打击地面能量的大小。当降雨被乔木冠层截留后,雨滴或碎裂为较小的雨滴,沿叶缘或植物茎部流到地面,落地时所携带的能量较未经过冠层截留时小了很多。因此,在

确定乔木林地植物措施因子时,综合考虑郁闭度和地表覆盖度两个指标。依据乔木林地植物措施因子赋值二维表^[14],当郁闭度的估算误差达到 $\pm 20\%$ 时,计算植物措施因子赋值的最大误差(详见表 2)。赋值最大误差均在 10%以内,本研究的郁闭度反演方法可作为区域土壤侵蚀监测时植物措施因子计算的参考。

4 结论

(1) SPOT5 影像各波段 DN 值在郁闭度一致地块表现稳定。在研究区 58 个无云地块内,近红外、红、绿波段的 DN 值的最大偏离分别为 13.8%,15.65%,24.52%,偏离平均值分别为 10.11%,10.94%,17.78%。

(2) SPOT5 影像的红、绿波段反演郁闭度的最佳波段组合。SPOT5 影像红、绿波段 DN 值与郁闭度相关性较高,近红外波段的相关性较低。组合红、绿波段 DN 值建立反演郁闭度的方程,判定系数 R^2 为 0.66。在 20 个地块上,反演结果与实地调查数据正、负向最大偏差为 +16.92%, -16.06%,偏差均值为 -2.08%。根据实地调查郁闭度分级统计反演精度,各级计算郁闭度值偏离均小于 15%。

(3) 当郁闭度的估算误差为 $\pm 20\%$ 时,植物措施因子赋值的最大误差 $<10\%$,本研究可作为区域土壤侵蚀监测时植物措施因子计算的参考。

参考文献:

- [1] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [2] 李永宁,张宾兰,秦淑英,等. 郁闭度及其测定方法研究与应用[J]. 世界林业研究,2008,21(1):40-46.
- [3] Liu B Y, Zhang K L, Xie Y. An Empirical Soil Loss Equation[M]// Process of Soil Erosion and Its Environment Effect, Proceedings 12th International Soil Conservation Organization Conference, Beijing: Qinghua University Presss,2002.
- [4] Vales D J, Bunnell F L. Comparion of methods for esti-

mateing forest overstory cover I. Observer effects[J]. Can. J. for Res.,1988,18:606-609.

- [5] Jennings S B, Borwn N D, Sheil D. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures[J]. Forestry,1999,72(1):59-73.
- [6] 李裕国. 森林资源管理和检测新技术例解. II:微细网点板航片郁闭度判读应用例[J]. 林业勘察设计,1995(3):5-11.
- [7] PU R L, Gong P. Wavelet transform applied to EO-1 hyperspectral data for forest LAI and crown closure mapping[J]. Remote Sensing of Environment,2004,91(2):212-224.
- [8] 谭炳香,李增元,陈尔学,等. Hyperion 高光谱数据森林郁闭度定量估测研究[J]. 北京林业大学学报,2006,28(3):96-101.
- [9] Boyd D S, Foody G M, Ripple W J. Evaluation of approaches for forest cover estimation in the Pacific Northwest, USA, using remote sensing[J]. Applied Geography,2002,22(4):375-392.
- [10] Choudhury B J, Ahmed N U, Idso S B, et al. Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations[J]. Remote Sensing of Environment,1994,50(1):1-17.
- [11] Gillies R R, Carlson T N, Gui J, et al. A verification of the 'triangle' method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurement of Normalized difference vegetation Index (NDVI) and surface radiant temperature[J]. International Journal of Remote Sensing,1997,18(15):3145-3166.
- [12] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室. 第一次全国水利普查培训教材之六:水土保持情况普查[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.
- [13] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [14] 蔡建勤. 区域土壤侵蚀遥感调查与抽样调查方法比较[D]. 北京:北京师范大学,2010.

(上接第 266 页)

参考文献:

- [1] 马迎娟. 预应力锚索格构梁复合结构的模型试验研究[D]. 成都:成都理工大学,2005.
- [2] 刘晶晶. 多节点加载预应力锚索格构梁模型试验研究[D]. 成都:成都理工大学,2006.
- [3] 王龙,朱彦鹏,李庆福. 弹性地基梁设计方法比较与分析[J]. 甘肃科技,2002,18(1):39-40.
- [4] 周继凯,杜钦庆. 考虑水平力作用的改进型 Winkler 地基模型[J]. 河海大学学报:自然科学版,2004,32(6):669-673.
- [5] 谈至明. 具有水平摩阻力的弹性地基上梁的解[J]. 力学与实践,1997,19(3):33-35.