基于 ETM$^+$ 影像的森林资源信息提取

——以黄土高原丘陵沟壑区水土保持林为例*

李巍岳[1,2] 胡志斌[1**] 闫巧玲[1]

([1] 中国科学院沈阳应用生态研究所,沈阳 110016;[2] 辽宁工程技术大学测绘与地理科学学院,辽宁阜新 123000)

摘 要 以森林资源遥感分类为切入点,以黄土高原丘陵沟壑区陕西黄龙县境内的水土保持林作为对象,针对 ETM$^+$ 遥感影像在森林信息提取中存在的大量混合像元的问题,引入一种基于针叶林-阔叶林-灌草(C-B-G)模型的混合像元分解方法,通过这种方法,分别得到研究区针叶林、阔叶林、灌草的覆盖图像,并提取出了针阔混交林的分布情况。采用 ERDAS 9.1 对分类结果进行精度评价,结果表明针阔混交林的分类精度相对于通用分类方法——监督分类的精度提高了 20%,说明该方法可以改善植被信息提取的效果。

关键词 ETM$^+$ 影像;混合像元;针阔混交林;分类精度

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2009)09-1737-06

Information extraction of forest resources based on ETM$^+$ image: A case study of water and soil conservation forest in a hilly and gully area of Loess Plateau. LI Wei-yue[1,2], HU Zhi-bin[1], YAN Qiao-ling[1] ([1]*Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang* 110016, *China*; [2]*School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin* 123000, *Liaoning, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, **28**(9): 1737-1742.

Abstract: According to the remote sensing classification of forest resources, the water and soil conservation forests in Huanglong County of Shaanxi Province, a hilly and gully area of Loess Plateau, were chosen as research objects, and a mixed pixel decomposition method based on coniferous-broad leaved-grass (C-B-G) model was introduced for solving the mixed pixel problems in forest information extraction by ETM$^+$ remote sensing images. Using this method, the cover images of coniferous forest, broad-leaved forest, bush, and grass were obtained respectively, and the distribution of coniferous and broad-leaved mixed forest was extracted. Erdas 9.1 was used to evaluate the classification accuracy. Comparing with the supervised classification, a general classification method, our method had 20% higher classification accuracy on the coniferous and broad-leaved mixed forest, suggesting its improved effect in vegetation information extraction.

Key words: ETM$^+$ image; mixed pixel; coniferous and broad-leaved forest; classification accuracy.

遥感技术自 20 世纪 70 年代引入中国林业应用以来,因其具有宏观性、综合性、动态性以及成本低等特点,已经成为研究森林资源现状及其森林动态变化的理想手段(葛宏立和方陆明,2007)。在多时相、多波段遥感影像上提取森林资源信息,具有现实性强、更新周期短和成本相对低廉的特点(邓书斌等,2007)。利用遥感数据提取森林资源信息的方法有很多,较为常用的是根据典型样本训练方法进行监督分类的方法。赵宪文(1995)在研究中国热带森林中,探讨了遥感森林分类方法和调查方案;刁淑娟等(1995)根据遥感图像的光谱和空间信息,结合不同植被的分布规律,对四川省攀枝花地区的植被进行了分类研究,精度达到 90%。连芸等(2008)利用比值法融合后的影像监督分类,实现研究区土地利用类型的信息提取。

* 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-YW-08-02)和国家自然科学基金项目资助(40701185)。

** 通讯作者 E-mail: zhibinhu@iae.ac.cn

收稿日期:2009-03-23 接受日期:2009-05-18

目前,在大范围的森林信息提取中,单纯依靠影像的光谱信息的监督分类方法还是主要的森林信息提取的手段。监督分类最主要的分类特点就是按照每个像元有且仅有一个所属类别的硬分类(王圆圆和李京,2004),但有些地区林地分布错综复杂、排列紧密,使得遥感影像中每个像元所对应的林地分布,往往包含不同的林地类型,尤其是中低等分辨率的遥感影像中包含了大量的混合像元,这对遥感影像解译带来了困难(沈明霞等,2007),单纯的依靠监督分类方法,精度达不到要求。

混合像元分解是高光谱、多光谱遥感应用的重要问题之一(童庆禧等,2006)。Ichoku 和 Karnieli (1996)总结了目前比较成熟的混合像元分解方法,主要有5种类型: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。此外,还有最新发展的一些智能化混合像元分类方法,例如神经网络模型分类法、专家系统分类法,数据挖掘分类法等,其中线性光谱混合模型最为成熟应用最为广泛(邹蒲等,2007)。万军和蔡运龙(2003)应用线性光谱分离技术研究喀斯特地区土地覆盖的变化,分离出植被、裸露土壤、裸露岩石和阴影等土地覆被丰度和 RMS 的空间分布;傅文杰和戴塔根(2006)利用线性光谱混合模型对枇杷树信息进行提取,绘出枇杷树的丰度图;周纪等(2007)利用线性光谱混合模型提取出北京城市地表不透水层的覆盖度。目前利用线性光谱模型对森林植被的信息提取研究较少。本文利用该模型,针对陕西省黄龙县森林分布情况,建立针-阔-灌草(C-B-G)三元模型,利用最小噪音分离(Minimum Noise Fraction,MNF)选择这三者的终端单元,分别形成研究区针叶林、阔叶林、灌草覆盖度图像,达到了分解混合像元、提取森林信息的目的。通过精度评价,验证了此分类的可靠性。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区黄龙县(35°34′09″ N —36°02′11″N,109°38′49″ E—110°16′49″ E)位于陕西省延安市的东南部,地处黄土高原丘陵沟壑区,该地的海拔高度为 643 ~1784 m,属温带大陆性半湿润季风气候,年均降水量602 mm。虽然黄土高原区自然条件较为严酷,景观生态系统抗干扰性低(李团胜等,2002),但该区气候特点较为分明。黄龙县植被覆盖在全省处在首位,覆盖率在70%以上,植被面积约为1500 km^2,林木大多数属人工水土保持林,乔木树种中针叶林主要以油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)为主、阔叶林主要以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)为主(朱教君等,2004;蔡秋芳等,2005)。研究区植被类型单一,覆盖度较高,在5—8月针叶、阔叶、灌草在 ETM^+ 影像中较为明显。

1.2 模型介绍

1.2.1 线性光谱混合模型 线性光谱模型是用来寻找一个像元内各地物的类型、比例以及地物的光谱响应之间的线性关系表达式(丛浩等,2006)。端元是指在遥感影像中,组成混合像元的多种单一光谱的土地覆盖类型(杨可明等,2006)。线性光谱模型的基本假设是由各个不同的端元光谱通过线性方式组合形成的混合像元,其中各端元所占的百分比不同,其模型定义为:

$$L_{i\lambda} = \sum_{k=1}^{n} f_{ki} R_{k\lambda} + \varepsilon_{i\lambda} \quad (1)$$

该公式满足两个条件:

$$1) \sum_{k=1}^{n} f_{ki} = 1 \text{ 且 } f_{ki} \geqslant 0 \quad (2)$$

$$2) RMS = \left[\sum_{i=1}^{\lambda} (\varepsilon_{i\lambda})^2 / n \right]^{1/2} \quad (3)$$

式中,$L_{i\lambda}$ 为第 λ 波段第 i 个像元的光谱辐射值;f_{ki} 为 i 像元内第 k 个端元组分所占的权重或者是所占的比例;$R_{k\lambda}$ 为第 λ 波段第 k 个端元组分的光谱辐射值;$\varepsilon_{i\lambda}$ 为第 λ 波段第 i 个像元对应的误差值;n 为选取的端元个数;RMS 为像元 i 的均方根误差。线性光谱模型构建简单,是建立在像元内相同地物都有相同的光谱特征以及线性可加的基础上,该模型利用最小二乘法求解各端元在像元中的面积百分比,具有较好的科学性。

1.2.2 C-B-G 模型 Ridd(1995)在进行城市形态研究中提出了 V-I-S(植被-不透水面-土壤类型)模型,这个模型把城市景观与植被,不透水面和土壤的光谱特征联系起来,可以从定量化的角度对城市环境生物物理组分进行研究(Small,2001)。C-B-G(针叶林-阔叶林-灌草)模型是针对研究区的植被覆盖状况提出的,在山区森林组分中主要是由这三者组合而成,并且针、阔、灌草的覆被情况也是衡量山区森林分布状况的重要指标。C-B-G 模型的3种组分可以通过三角形图表示出来(图1)。

山区中植被分布的地区,任何像元都大体可以看作由C、B、G3个组分组成。图1表示出了P

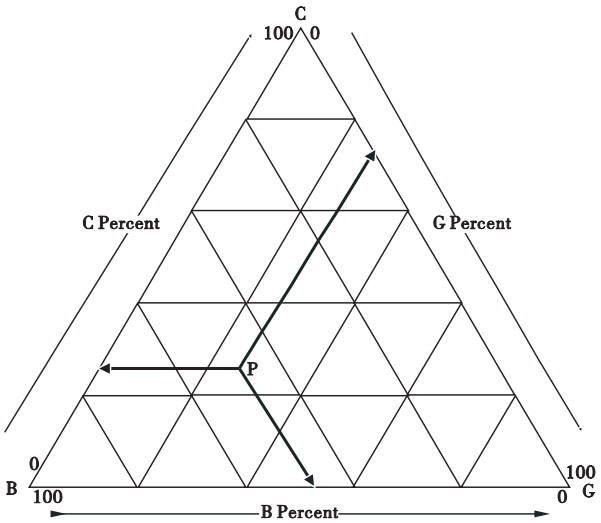


图1 C-B-G 三角模型
Fig. 1 C-B-G triangle model

点 C、B、G 3 个组分的丰度,分别为:C = 25%,B = 25%,G = 50%。通过这样的划分,避免了混合像元单纯被归为一类的做法,更能较好地反映植被覆被情况。

1.3 研究区遥感图像处理

1.3.1 图像来源与数据处理 采用的 ETM⁺数据资源为美国陆地卫星 Landsat-7 的全波段图像,获取日期为 2000 年 5 月 21 日。利用研究区的多光谱影像与 ETM⁺的第 8 波段(全色波段)进行融合,最后形成分辨率为 15 m 的假彩色图像,提高了影像空间分辨率和信息丰富度。目视判读选用 453 组合,这种组合方法也是目前全国森林资源清查所采用的波段组合(张煜星和王祝熊,2007)。

数据首先需要进行预处理,针对研究区中丘陵沟壑的特点,重要的是进行地形校正,校正后的影像做 MNF(Minimum Noise Fraction)变换,提高波谱处理的效果。

1.3.2 地形校正 采用余弦校正模型对地形起伏进行处理,余弦校正模型是一个简单的光学函数,其基本原理是:校正后像素接受的总辐射与坡面像素接受的总辐射有一个入射角(太阳天顶与垂直于坡面的方位夹角)余弦决定的直接比例关系。定义 α 为太阳入射角。计算方法为:

$$\cos\alpha = \cos\theta\cos\beta + \sin\theta\sin\beta\cos(\lambda - \omega) \qquad (4)$$

式中,θ 为像元所在平面的坡度值,λ 为太阳方位角,ω 为像元所在平面的坡向角,β 为太阳天顶角。坡度角 θ 与坡向角 ω 可由 DEM 计算得到(在 ARCGIS 9.2 中由数字化的等高线生成 30 m 分辨率的 DEM)。

余弦校正模型可表示为:

$$L_H = L_T\left(\frac{\cos\beta}{\cos\alpha}\right) \qquad (5)$$

式中,L_H 为水平地面某点的辐射值,L_T 为倾斜地面某点的辐射值。在 ERDAS 9.1 中运用校正公式(5)构建空间模型,针对每一个波段进行校正,图像的阴影部分得到消除。

1.3.3 最小噪声分离(Minimum Noise Fraction,MNF) MNF 变换是同主成分变换相似的一种方法,主要用它来进行分离数据中的噪音,确定数据内在的维数,可以减少数据处理的计算量。但它也是对主成分变换(PCA)的改进,经过 MNF 变换后数据空间可分为两部分:一部分与大的特征值和相对应的特征影像相关,另一部分与接近一致的特征值以及噪音占主导地位的影像相关(李素等,2007)。经过 MNF 变换后,图像主要信息集中在前三个分量。Lu 和 Wang (2004)采用 ETM⁺影像,通过 MNF 变换进行散点图分析、选择端元组分以及混合像元分解,分析了美国印第安纳州首府印第安纳波利斯市的城市景观。本文也是在该理论的基础上对森林植被进行提取。

2 结果与分析

2.1 混合像元分解

利用前期处理的影像,以 2000 年研究区的土地利用数据为参照,通过 ARCGIS 9.2 把非林区域从图像中剔除。在 453 假彩色合成的影像中,通过实地考察建立针叶林、阔叶林、灌草的解译标志:针叶林色调多为褐色;阔叶林多为红色、鲜红色;灌草多为青色。分析 MNF 前三个组分的散点图,根据 Smith 等(1985)提出的"散点图犄角处的像元都是终端单元",图 2 是 MNF Band2 与 MNF Band3 组成的散点图,三个角点分别代表针叶林(C)、阔叶林(B)、灌草(G)三个终端单元,基本排除了土壤情况的干扰。

利用最小二乘法,对研究区域的 ETM⁺遥感图像进行混合像元分解,分别得到研究区针叶林、阔叶林、灌草覆盖图像。生成的图像是 0 ~ 255 的灰度图像,在 ARCGIS 9.2 中把覆盖图像按照灰度值分成 5 个等级(图 3)。结合 2000 年土地利用数据,对研究区植被进行抽样调查,灰度值在 0 ~ 50 的区域植被覆盖度差;50 ~ 100 植被覆盖度较差;100 ~ 150 植被

覆盖度一般;150～200 植覆盖度较好;200～255 植被覆盖度好。表1是这3种植被类型在5种植被分级的面积统计,通过实地样方调查,植被覆盖图的灰度值在0～50与200～255时,基本属于纯净像元,0～50代表区域中没有3种植被类型;200～255代表区域中主要是这3种植被类型,纯净的针叶林分布面积大于阔叶林与灌草的面积。而中间的3个等级混合有其他的植被类型,属于混合像元的部分。

表1 三种植被类型不同等级下的面积(km^2)统计

Tab. 1 Area statistics of three vegetation types under different grades

植被类型	差(0～50)	较差(50～100)	一般(100～150)	较好(150～200)	好(200～255)
针叶林	105.32	218.35	430.57	522.38	295.38
阔叶林	188.33	308.11	443.46	384.04	248.06
灌草	124.66	445.97	516.40	306.85	178.12

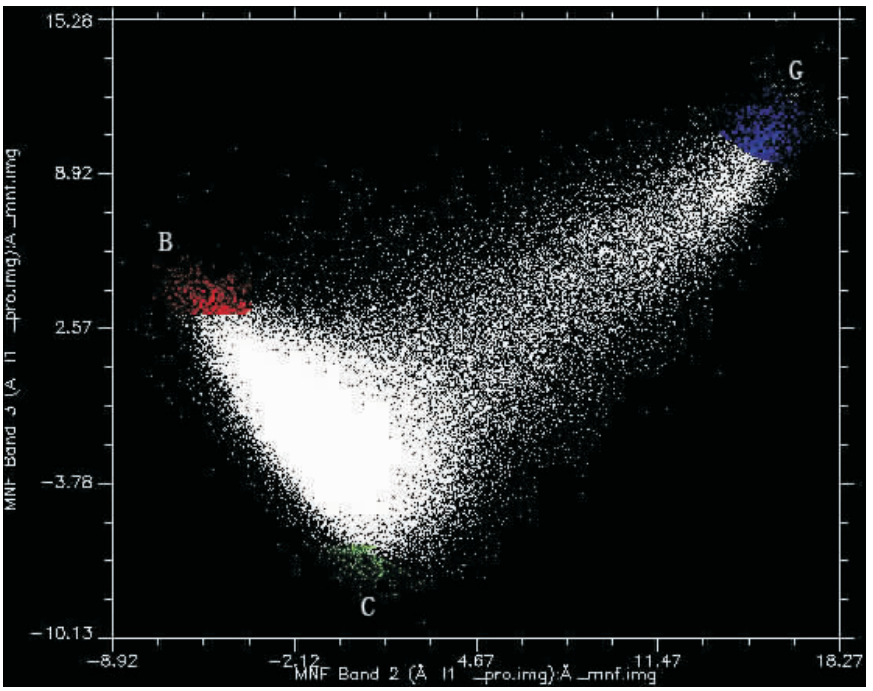


图2 MNF2、MNF3 散点图

Fig. 2 MNF2, MNF3 scatter plot

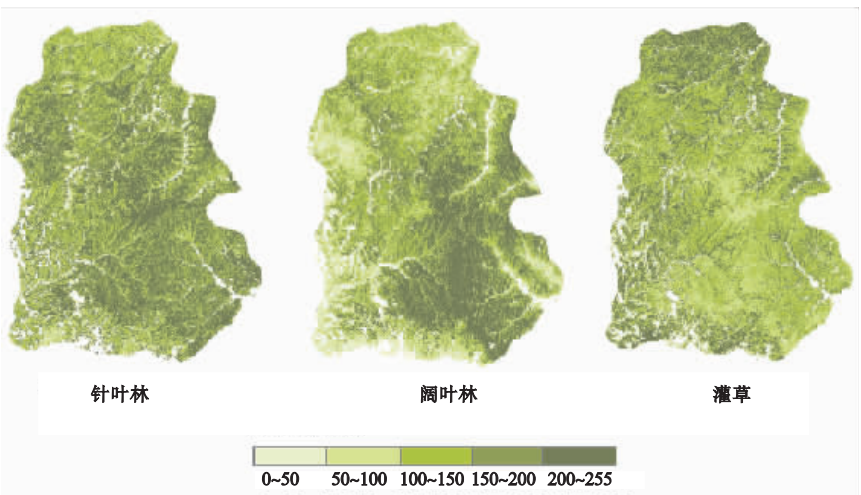


图3 针叶林、阔叶林、灌草覆盖示意图

Fig. 3 Coniferous forest, broad-leaved forest, bush-grass cover map

表 2 ERDAS 监督分类混淆矩阵及评价参数

Tab. 2 Confusion matrix and evaluation parameters of ERDAS supervised classification

植被类型	混淆矩阵					生产者精度(%)	用户精度(%)	各类条件 Kappa 指数
	针叶林	阔叶林	灌草	混交林	行总数			
针叶林	50	0	2	8	60	73.53	83.33	0.7674
阔叶林	4	48	1	7	60	82.76	80.00	0.7363
灌草	2	2	52	4	60	82.25	86.67	0.8212
混交林	12	8	6	34	60	64.15	56.67	0.4439
列总数	68	58	61	53	240	–	–	–

2.2 针阔混交林分布情况

根据上面的分析,针叶林、阔叶林的混合像元分布在中间的 3 个等级,这部分是包含针阔混交林的地方。此外,这部分应该满足灌草较少。利用 ArcGIS 9.2 中的栅格逻辑计算功能,得出针阔混交林的区域(图 4),其中针阔混交林的区域为 209.15 km^2。

2.3 分类精度评价

根据研究区的实际情况和分类所得的森林覆盖图的特征,即分类类型空间分布不均匀和某些类型在空间上群集的特点,分析时随机选择评价点。在 Erdas 9.1 中,对研究区植被类型进行监督分类(曾志远,2004),共选择 240 个点对监督分类后的图像进行精度评价,其中针叶林、阔叶林、灌草以及针阔混交林各 60 个(表 2)。主要的评价参数有:

1)总体分类精度:

$$P_c = \sum_{i=1}^{m} \frac{P_{ii}}{N} \tag{6}$$

式中,P_c 为总分类精度,m 为分类类别数,N 为样本总数,P_{ii} 为第 i 类的判别样本数(即第 i 类被正确分类的样本数目)。

2)生产者精度:

$$PA = \frac{P_{ii}}{P_{pi}} \tag{7}$$

式中,PA 生产者精度,P_{pi} 为某一类所在列总数。

3)用户精度:

$$UA = \frac{P_{ii}}{P_{li}} \tag{8}$$

式中,UA 为用户精度,P_{li} 为某一类所在行总数。

4)总体 Kappa 系数:

$$K = \frac{N\sum_{i=1}^{m} P_{ii} - \sum_{i=1}^{m} (P_{pi} \times P_{li})}{N^2 - \sum_{i=1}^{m} (p_{pi} \times p_{ii})} \tag{9}$$

式中,K 为 Kappa 系数。

5)各类别的条件 Kappa 系数:

$$K_i = \frac{N_{pi} - P_{pi} \times P_{li}}{Np_{pi} - P_{pi} \times P_{li}} \tag{10}$$

式中,K_i 为第 i 个类别的条件 Kappa 系数。

根据式(1)、(4)算出研究区植被监督分类总体分类精度为 76.67%,总体 Kappa 指数为 0.6889,分类精度总体较好。其中,灌草的分类精度最高,用户精度为 86.67%。但混交林的用户精度只有 56.67%,条件 Kappa 指数为 0.4439,分类精度最低,60 个评价点中只有 34 个分类正确,12 个点错分为针叶林,8 个点错分为阔叶林,6 个点错分为灌草。说明利用 ERDAS 的监督分类并不能把光谱值相近的针、混、阔叶林分开(王立海等,2006)。

选择 240 个点,其中针叶林、阔叶林、灌草以及混交林各 60 个,对线性光谱混合模型分类进行精度评价(表 3)。

利用式(1)、(4)算出利用线性光谱分解模型的总体分类精度为 83.75%,总体 Kappa 指数为 0.7790,每种植被分类精度都有了明显的提高。其中,混交林的用户精度为 76.67%,条件 Kappa 指数为 0.6906,相对于上一种分类方法,精度提高了 20%。可见,利用对遥感影像混合像元先分解然后分类,能较明显地削弱混合像元带来的错误分类,实现了对针阔混交林的分类。

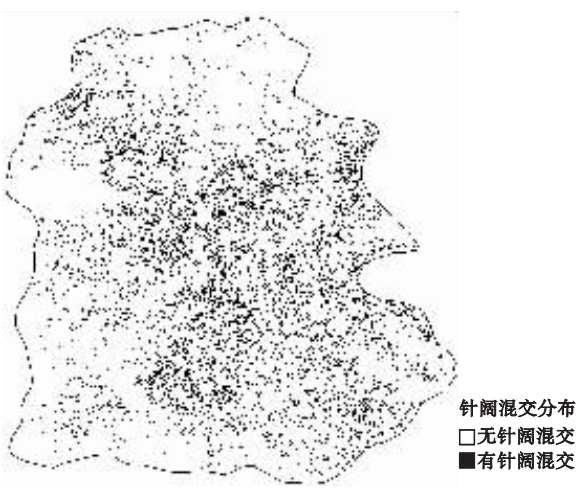


图 4 针阔混交林分布示意图

Fig. 4 Distribution map of coniferous and broad-leaved forest

表3 线性光谱分类混淆矩阵及评价参数

Tab. 3 Confusion matrix and evaluation parameters of linear spectral classification

植被类型	混淆矩阵					生产者精度(%)	用户精度(%)	各类条件Kappa指数
	针叶林	阔叶林	灌草	混交林	行总数			
针叶林	48	1	4	7	60	84.21	80.00	0.7377
阔叶林	3	52	2	3	60	88.14	86.67	0.8232
灌草	2	0	55	3	60	84.62	91.67	0.8857
混交林	4	6	4	46	60	77.97	76.67	0.6906
列总数	68	58	61	53	240	–	–	–

3 结 论

利用建立的混合像元模型,分别提取出了针叶林、阔叶林、灌草的覆盖情况,通过植被覆盖度分级,找出了针叶林与阔叶林灰度交叉的部分(混合像元的部分),做出研究区针阔混交林分布图。

传统的自动分类技术对植被分类中效果一般,尤其是对针阔混交林的分类精度较低,达不到区分森林类型的分类目的。利用线性光谱分类方法结合建立的混合模型,较好地应用于针阔混交林 ETM^+ 遥感影像的自动分类技术中,分类精度明显提高,基本达到了区分针阔混交林的森林类型的分类目的。

对于混合像元的分解思想尚处于探索阶段,线性模型是较早提出的一个对混合光谱进行模拟的模型,到目前为止,对线性模型的反演及其在资源遥感中的应用已经做了大量的研究工作(惠巍巍等,2007)。但利用线性光谱混合模型时,单纯依靠纯像元的光谱值,难免会造成计算的误差,如果将非遥感数据与遥感数据相结合,利用地学知识和地理信息系统的辅助支持相结合会改善植被分类提取的效果。

参考文献

蔡秋芳,刘 禹,杨银科,等. 2005. 陕西黄龙树轮年表的建立及其2—3月降水记录. 海洋地质与第四纪地质, **25**(2):133-139.

丛 浩,张良培,李平湘. 2006. 一种端元可变的混合像元分解方法. 中国图象图形学报, **11**(8):1092—1096.

邓书斌,武红敢,江 涛. 2007. 基于PCA/NDVI的森林覆盖遥感信息提取方法研究. 国土资源遥感,(2):82-85.

刁淑娟,孙星和,袁崇桓. 1995. 山区植被类型信息提取方法研究. 国土资源遥感,(3):34-39.

傅文杰,戴塔根. 2006. 基于线性光谱混合模型的遥感影像枇杷树信息提取. 西北林学院学报, **21**(2):13-15.

葛宏立,方陆明. 2007. 遥感图像森林资源信息提取与分析研究. 北京:科学出版社.

惠巍巍,衣德萍,廖彩霞,等. 2007. 混合像元分解研究综述. 林业科技情报, **39**(1):2-3.

李 素,李文正,周建军,等. 2007. 遥感影像混合像元分解中的端元选择方法综述. 地理与地理信息科学, **23**(5):35-42.

李团胜,程水英,韩景卫,等. 2002. 黄土高原区景观生态特征与景观生态建设. 生态学杂志, **21**(5):78-80.

连 芸,宋传中,吴立坤,等. 2008. 基于GIS和RS的巢湖北岸湿地分类研究. 合肥工业大学学报(自然科学版), **31**(11):1736-1739.

沈明霞,何瑞银,丛静华. 2007. 基于ETM^+遥感影像的森林植被信息提取方法研究. 南京林业大学学报(自然科学版), **31**(6):113-116.

童庆禧,张 兵,郑兰芬. 2006. 高光谱遥感——原理、技术与应用. 北京:高等教育出版社.

万 军,蔡运龙. 2003. 应用线性光谱分离技术研究喀斯特地区土地覆被变化——以贵州省关岭县为例. 地理研究, **22**(4):439-446.

王立海,赵正勇,杨 旗. 2006. 利用GIS对吉林针阔混交林TM遥感图像分类方法的初探. 应用生态学报, **17**(4):577-582.

王圆圆,李 京. 2004. 遥感影像土地利用/覆盖分类方法研究综述. 遥感信息,(1):53-59.

杨可明,陈云浩,郭达志,等. 2006. 基于端元提取的高光谱影像特定目标识别. 金属矿山,(6):48-52.

曾志远. 2004. 卫星遥感图像计算机分类与地学应用研究. 北京:科学出版社.

张煜星,王祝熊. 2007. 遥感技术在森林资源清查中的应用研究. 北京:中国林业出版社.

赵宪文. 1995. 中国热带林遥感探索:分类方法与调查方案. 林业科学研究, **8**(4):373-379.

周 纪,陈云浩,张锦水,等. 2007. 北京城市不透水层覆盖度遥感估算. 国土资源遥感,(3):13-17.

朱教君,姜凤岐,范志平,等. 2004. 黄土高原刺槐水土保持林防护成熟与更新研究. 生态学杂志, **23**(5):1-6.

邹 蒲,王云鹏,王志石,等. 2007. 基于ETM^+图像的混合像元线性分解方法在澳门植被信息提取中的应用及效果评价. 华南师范大学学报(自然科学版),(2):131-136.

Ichoku C, Karnieli A. 1996. A review of mixture modeling techniques for sub-pixel land cover estimation. *Remote Sensing Review*, **13**:161-186.

Lu DS, Weng QH. 2004. Spectral mixture analysis of the urban landscape in Indianapolis with Landsat ETM^+ imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **70**:1053-1062.

Ridd MK. 1995. Exploring a V-I-S (Vegetation-Impervious Surface-Soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: Comparative anatomy for cities. *International Journal of Remote Sensing*, **16**:2165-2185.

Small C. 2001. Estimation of urban vegetation abundance by spectral mixture analysis. *International Journal of Remote Sensing*, **22**:1305-1334.

Smith MO, Johnson PE, Adams JB. 1985. Quantitative determination of mineral types and abundances from reflectance spectra using principal components analysis. *Journal of Geophysical Research*, **90**:797-804.

作者简介 李巍岳,男,1983年3月生,硕士研究生。主要从事遥感技术应用研究。E-mail:ajia326@hotmail.com

责任编辑 李凤芹