

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.01.020

# 立地分类与评价研究现状

肖春莲

(眉山市东坡区三苏林业站,四川 眉山 620000)

**摘要:**森林立地分类和评价是林业生产规划、野外作业设计、施工造林、育林营林等重要生产过程中的基础工作之一,同时是因地种树和促进林地生产力及林业绿色健康平稳发展的关键,对提高林木质量、持续发展高效林业、恢复改造森林结构和扩大森林资源等都具有十分重要的意义。本文系统地综述了立地分类和立地质量评价的国内外研究现状及相应的特征。同时基于遥感信息技术发展与应用,结合前人的具体研究案例对立地分类与评价进行了分析和总结。总的来看,运用遥感信息技术进行立地分类与评价不仅能提高精确度及客观性,而且更便捷快速。未来将更依靠计算机技术和遥感信息技术,向包含多因子、多层次的综合性立地分类和评价发展。

**关键词:**立地分类;立地评价;遥感

中图分类号:S757.2

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2019)01-0092-06

## The Present Situation of Forest Site Classification and Evaluation

XIAO Chun-lian

(San Su Forestry Station of Dongpo District, Meishan 620000, China)

**Abstract:** Classification and evaluation of forest site were one of the most important fundamental work in forestry production planning, field operation design, afforestation and forest cultivation, and also the key to planting trees and promoting the healthy development of woodland productivity and forestry. It was significant for improving the quality of cultivation, developing sustainable forestry, and restoring and expanding forest resources. In this article, the research status was systematically reviewed together with features of site classification and evaluation at home and abroad. Meanwhile, based on the development and application of remote sensing information technology, site classification and evaluation were analyzed and summarized in combination with the previous concrete research cases. Overall, site classification and evaluation by remote sensing information technology improved not only accuracy and objectivity, but also convenience and rapidness. In the future, more computer technology and remote sensing information technology could be utilized to develop into comprehensive site classification and evaluation with multi-factor and multi-level.

**Key words:** Site classification, Site evaluation, Remote sensing

立地分类是指根据植被生长效果及其立地条件等综合要素的异同,将立地划分成不同类别和等级,从而进一步在此基础上建立立地质量评价,对其宜林性或潜在生产力进行评估和预测<sup>[1]</sup>。对森林立

地进行分类和评价不仅是林业改造规划、生产和经营管理的基础工作,而且是了解森林植被生长环境,研究掌握环境对森林类型及其生产力影响的重要途径和技术手段<sup>[2-3]</sup>。因此,通过对森林进行立地分

收稿日期:2018-09-07

作者简介:肖春莲(1983-),女,硕士,工程师,主要从事森林生态,病虫害防治研究,e-mail:765274948@qq.com。

类研究,挑选出适应性强且生产力高的品质优良的造林树种,提出恰当的育林管理措施手段,并预测森林演替规律、生产力及木材产量等,从而为森林经营管理、木材生产成本和育林投资做出健康评价和预算,同时充分体现森林的生态环境效益,社会效益和经济效益<sup>[4]</sup>。

从 20 世纪 20 年代起,立地分类和评价逐渐受到各国科学家和林业人员的重视,在全球范围内广泛开展其相关研究,从而在理论和技术应用上取得巨大的进展和成就<sup>[5]</sup>。我国从早期利用苏联波格来勃涅克林型学说进行立地类型的划分,到计算机制图、遥感技术和数据库管理技术的引入,立地分类研究已经获得一定的成就。尤其是在分类与评价方法上使用现代信息技术(如:地理信息技术等)与数学集合的方法,筛选出主导因子,完成对森林立地类型的科学划分及立地质量的综合评价<sup>[3,6-8]</sup>。

森林立地分类与评价对于林地资源利用规划具有重要的参考作用<sup>[9]</sup>。因而,利用遥感信息技术的精确性和便捷性,对森林立地进行分类与评价,对因地种树、科学造林、营林、提高林木品质与林地生产

力及促进林业绿色健康平稳发展等都具有更精确、更现实的指导意义和实践规划作用<sup>[9-10]</sup>。本文基于现代信息技术,以遥感信息技术为切入点分析了目前国内对立地分类与评价的研究现状。

## 1 森林立地分类及评价研究简况

### 1.1 国内外立地分类研究简况

德国科学家 C. A. Karns 在 1926 年首次提出了关于森林立地分类研究,并且他提出的多因子森林立地分类研究,目前已逐渐发展成为一种综合地形、土壤、植被和气候等多因子的分类方法<sup>[11]</sup>,受到欧洲和北美等地科学家和林业管理人员的肯定和推崇,成为目前最有效的立地分类与质量的评价研究方法之一,在美国、加拿大及奥地利等地广为应用(见表 1)。到 20 世纪 40 年代,以苏卡乔夫和波格莱勃涅克为首的科学家在苏联分别形成两大学术阵营,即生物地理群落学派和生态学派<sup>[12]</sup>。以典型巴登—符腾堡分类法为例(见表 2)<sup>[11]</sup>,不仅推动了森林立地分类研究的进程,对苏联的林型和立地分

表 1 国内外立地分类方法

Tab. 1 Site classification methods at home and abroad

国家	分类方法	类型	方法描述	特点
德国	巴登—符腾堡分类法	多因子综合	生长区—立地类型	在分类标准、分类的等级、命名方法等方面十分便捷,与此同时严格要求分类原始数据的采集及立地图像的绘制的精度要求较高 <sup>[11]</sup>
前苏联	苏卡乔夫—生物地理群落学派	侧重于植被	立地条件类型—林型—林分型	利用群落特征较好地反映原始林区立地差异,而群落对立地的指示意义在次生林区、人工林区已经部分丧失或完全褪去 <sup>[12]</sup>
	波格来勃涅克—生态学派	侧重于土壤	植被型—群系纲—群系组—群系—林型组—林型	能够较好地适用于有林地和无林地,原始林和次生林的分类 <sup>[13]</sup>
芬兰	—	侧重于植被	通过森林中的下木特征鉴别立地类型	主要依据优势种确定林型 <sup>[4,14-15]</sup>
欧美	巴登—符腾堡分类法	—	—	通过归纳总结和吸取北美地区(主要是指加拿大和美国)全生境立地分类和生境类型分类的经验,发展成为生态分类 <sup>[4,16]</sup>
中国	—	—	类型区(海拔高度、岩性)—类型组(坡位坡型坡度)—类型(土壤属性)	在国外研究方法的基础上总结归纳,结合中国林情,吸取各国经验,建立符合中国国情、林情的方法 <sup>[17]</sup>

表 2 巴登—符腾堡北部生长小区 B 的立地分类<sup>[11]</sup>

Tab. 2 Site Classification of growth area B in Northern Baden-Württemberg

立地命名	B1	B2	B3	B4	B5
巴登符腾堡(生长区—立地类型)	B <sub>1</sub> 中等干燥沙土上的山毛榉—云杉林 地形:多位于平坦山脊和漂砾地。土壤类型:灰化棕色和锈斑棕色森林土。生态种群:地杨梅( <i>Luuzla nemorosa</i> )—波叶须( <i>Deschmpsia fluxuoss</i> )—黑果越桔( <i>Vaccinium myrtillus</i> )组	B <sub>2</sub> 酸性沙土上的山毛榉—云杉林 地形:平坦。土壤类型:强灰化棕色森林土和弱灰化部分假潜育土。生态种群:白果越桔( <i>Mastigobryum trilobatum</i> )组	B <sub>3</sub> 潮湿沙质坡地山毛榉—云杉林 地形:多为阴坡。土壤类型:中度盐基饱和棕色森林土。生态种群:粟草—甸甸筋骨草—地杨梅组	B <sub>4</sub> 中等酸性和干燥酸性沙质坡地上的山毛榉—云杉林 地形:面向风口和向阳。土壤类型:灰化棕色森林土,弱灰化,局部的岩成土。生态种群:波叶须草—地杨梅—白果越桔—粉绿白发藓	B <sub>5</sub> 潮湿河湖洼地或低地 地形:迅速排水,但常年潮湿的低地。土壤类型:崩积棕色森林土和冲积土,土质混杂 生态种群:种类丰富,水苏凤仙花—甸甸筋骨草—粟草组

类研究产生了十分重要的影响,并且对全球的立地分类研究具有一定的启示作用和跨时代意义,使我们更清楚认识到环境与植被之间的相互关系,进一步理解了植被及其生长环境对立地分类研究的重要性。

我国立地分类研究起步相对较晚,其中最具有代表性的研究成果有:在20世纪50年代,国内学者利用苏联两大学派的学术思想及指导思路对国内森林资源林型进行了划分评价和立地条件的评估。20世纪70年代末,吸收欧美日本等国经验,林业管理人員和科学家对全国杉木产区进行了区划及立地分类的评价<sup>[18]</sup>。20世纪80年代中期,对东北季风气候区的用材林基地、太行山区、三北防护林地区、长江中上游等进行了大规模的立地分类与评价应用研究<sup>[19]</sup>。20世纪90年代至今,全国性、区域性的大规模合作研究相对较少,但相关的立地分类与评价研究较多,并且国内学者通过归纳与总结,著书立作,使国内的植被划分和立地分类与评价研究更为完善和清晰,其中《中国森林立地》<sup>[20]</sup>一书最具代表性。目前,我国森林立地分类主要采用的是三级分类系统,该分类系统充分考虑综合因子强调主导因子,采用逐级控制的方法分类命名,即利用被筛选出的主导因子命名,简称为:类型区—类型组—类型<sup>[21]</sup>。

## 1.2 国内外立地评价研究简况

从18世纪,德国学者首创森林立地质量评价,到19世纪,各国林业学者和生态学者都对此进行了大量相关的研究,针对各种不同的森林立地质量的评价形成了不同方法<sup>[22]</sup>,根据所采用的评价因子性质和特点可分为直接评价和间接评价两种方法。直接评价主要采用地位级、地位(立地指数)、林型和收获表等评估判断有林地的质量;间接评价主要包括植被指示法、多元地位指数法和根据不同树种高及生长之间的关系进行评价和预测的方法<sup>[12]</sup>。由于林分上层,受人为因素(如火烧,疏伐等)影响较小,因此国内外多用立地指数(林分优势木平均高,即上层高)来度量立地生产力。

随着现代知识的不断更新和信息科学技术的广泛应用与发展,基于立地分类与立地质量评价、立地类型中不同树种生产力的代换评价、立地数据库管理系统的建立与推广、立地图的计算机软件绘制与操作、遥感影像资料的收集及其图像应用于立地分类与制图等应用技术研究均得到不同程度的研究和

发展<sup>[23-24]</sup>,推动了我国立地研究进程,使我国的立地研究生态创新发展,与时俱进;也因此走上切实中国国情及林情的可持续发展的科技创新之路<sup>[17]</sup>。例如,王永昌等<sup>[26]</sup>通过使用高分遥感技术得到了云台山地区的景观类型,而张雅梅<sup>[3]</sup>和沈金泉<sup>[6]</sup>等通过地理信息系统技术对森林立地进行了分类研究。另外,张晓丽<sup>[27]</sup>和刘献伦<sup>[28]</sup>在森林立地分类研究中,分别首次加入了植被因子和湿润指数因子,评估和量化环境因子对森林立地分类的影响。

## 2 遥感信息技术在立地分类与评价中的应用

森林立地分类和质量评价是林业生产重要的基础工作之一。只有准确地划分立地条件类型,并对其作出恰当的质量评价,才能适地适树,充分发挥地力,达到形成稳定的森林生态系统和实现林业可持续发展的目的<sup>[26,29]</sup>。近年来,现代遥感技术和地理信息科学发展迅速,让立地信息的获取变得更为精准,人们对林地质量与立地因子间相互关系的了解也更加全面和深入。通过遥感因子与林分因子相结合的方式,可以实现大面积快速有效地估测森林立地情况,从而得出更加客观的立地质量评价。

同时,计算机信息技术和航空航天遥感技术的发展,也创新出了应用空间数据综合分析的立地分类的新方法,使森林立地分类技术方法得到不断的更新和发展。空间数据可以包括独立的单个林地或群体林地以位置为参照的数据,常用于图像和数据的分析整合,实现森林立地的自动分类。森林立地类型的自动分类主要依靠常用的图、图表或图像形式来量化或计算表达,而通过林业中常用的森林土壤图、林相图和采用多元信息叠置分析法,运用GIS软件分析同时实现<sup>[5]</sup>。多元信息叠置分析也被称为多种要素的空间合成,主要是指把两幅或两幅以上同一地区、比例尺大小相同、数学基础模型相同和利用不同空间信息表示的图件叠放在一起,以地理多变量计算单元为基础的分析方法,对地域和空间结构上相互重叠且相互的多种变换因子进行整合分析和评价<sup>[30]</sup>。

目前,3S技术在森林立地分类和评价中已被广泛运用。其包括GPS在内的一切定位、测量手段和多平台、多波段、高分辨率的遥感数据,通过含有系

统的地理信息系统,实现空间数据的自动采集、编辑、管理、分析、制图进而为一切与地理科学相关的行业服务,实现地学信息的实时、自动、数字、智能化的应用<sup>[31]</sup>。在3S技术之前,森林的面积、蓄积、类型、结构和分布等森林资源信息只能通过历史档案获取,在时间维度上存在滞后性,同时在空间维度上也缺乏直观、精确的地理信息数据。因此很难分析森林立地的变化及空间分布规律。基于3S的遥感信息技术很好地弥补了这一缺陷。例如:唐守正等人利用3S技术设计了一套先进的森林经营管理模式,可不断进行包括森林立地在内的资源数据更新,实现了森林经营管理与监测的动态化和现代化<sup>[25]</sup>。运用3S技术对森林立地情况的了解不仅限于数字上,还可以把各种林地属性信息与空间要素相匹配后在计算机中可视化,从而更直观、准确地掌握立地利用现状。利用各种与林地利用有关的信息,建立森林立地空间属性数据库,并把地图作为工具进行数据查询与更新利用已建立的森林立地数据库中的数据,采用先进的技术和方法,可直接做出立地质量评价<sup>[27,31~32]</sup>。

### 3 基于遥感信息技术的立地分类和评价方法

#### 3.1 利用信息技术提取立地因子

以研究区外业调查、二类调查、Land - sat8OLI影像等的基础数据为支撑,通过应用地理信息系统、遥感影响和多元统计分析等技术手段,量化研究区域的气象气候条件、地形地貌、植被、土壤等因子特征,确定立地主导因子及次要因素采用逐级控制的方法划分立地类型<sup>[29]</sup>。

##### 3.1.1 利用DEM数据提取立地因子

地形特征是影响立地类型和立地质量的重要因素,可以利用DEM数据在ArcGIS软件中得出,包括海拔、坡度、坡向及坡位的数据<sup>[33]</sup>。

##### 3.1.2 利用遥感影像提取立地因子

土壤湿度因子是通过采用Crist Cicone系数对遥感影像<sup>[34]</sup>进行缨帽变换,而变换后的影像数据能最大限度地分离土壤与植被的光谱信息<sup>[35~36]</sup>。然而,由于土壤含水量可以影响土壤表面温度,作为对热量异常敏感的热红外波段能够在一定程度上反映土壤湿度情况;例如,前人研究表明在近红外和短波

红外上,影像对土壤含水量具有良好的区分度和清晰度<sup>[37~38]</sup>,可以对影像数据第5、6、10波段和缨帽变换亮度分量、湿度分量组合进行分类。又如周道玮<sup>[39]</sup>以1:50 000地形图和《龙栖山植物》作为基础材料建立遥感影像的解译标志,通过应用最大似然法对影像进行监督分类,得到的分类精度>75%,满足符合图像解析的精度要求。最后经过后期一定处理去除图像中细碎的图形后,将图像输入到ArcGIS软件中应用其专题图制作的功能进行制图<sup>[33]</sup>。而植被指数因子可用归一化植被指数检测植被生长状态、植被覆盖度,使用ENVI软件的功能模块解析研究区遥感影像即可得到。

##### 3.1.3 利用二类调查数据提取立地因子

土壤厚度、土壤类型因子可以根据《中国森林立地分类》中关于土层厚度的分级标准,结合研究区域林地的实际情况,将土层厚度分为3级:薄土(0~24 cm)、中土(24 cm~49 cm)、厚土(49 cm以上),利用外业数据、二类调查数据建立林地土壤调查样点及其土层厚度数据库<sup>[40]</sup>。通过对比二类调查数据和实地调查取样并与遥感影像解析判读相结合的方法获取土壤类型。研究表明调查区内的土壤类型主要有黄壤、黄红壤、红壤、粗骨性黄壤、草甸土5类。生物量因子可依据研究区遥感数据及二类调查数据,建立基于样地的生物量遥感模型,验证模型精度后调整选取森林植被生物量模型,利用该模型估算出研究区森林生物量,再通过与研究区域二类调查资料对比发现,该研究结果基本符合研究地区生物量的普遍规律,具有较高的可信度<sup>[33]</sup>。

#### 3.2 基于GWR的立地质量遥感分析

通过依托和建立遥感信息模型,估算研究区域森林地位级指数,可实现森林立地质量的空间分布系统研究。利用地位级指数值作为量化立地质量优劣的评价指标,而SCI的计算则通过地区森林资源一类清查数据计算得出,同时结合林地调查因子和遥感因子,把传统最小二乘回归和GWR这两种方法应用于地位级指数模型的建立,根据评估对比2种方法预测地位级指数的有效性,秉承选择最佳效果的方法绘制SCI空间分布图,定量估测和评价地区的森林地位级指数,从而实现森林立地质量的评估和判断<sup>[41]</sup>。

3.2.1 遥感数据收集及光谱信息和纹理信息提取  
遥感图像的获得主要是通过对影像质量良好,

对图像进行大气校正后镶嵌、裁剪并且排除大量云层与阴影,从而得到覆盖整个研究区的较为清晰的遥感图像。通过解析遥感图像和计算得到4种常用且重要的植被指数,如,归一化植被指数(normalized differential vegetation index, NDVI)、差值植被指数(difference vegetation index, DVI)、比值植被指数(ratio vegetation index, RVI)和土壤修正植被指数(modified soil vegetation index, MSVI)<sup>[41~42]</sup>。

### 3.2.2 模型变量的选择与拟合

根据李明泽<sup>[42]</sup>等人的研究发现运用逐步回归法筛选最优化的自变量因子(显著性水平 $\alpha = 0.05$ ),林分平均胸径(average diameter at breast height, ADBH)、林分郁闭度(forest canopy closure, FCC)、DVI以及MSVI等因子通过了最终检验。该研究同时还选取了实际样地参与建模,采用59个遥感变量因子用于模型回归,对参与建模的全部自变量因子进行逐步回归并拟合得到相关可用模型。

### 3.2.3 地位级指数模型构建

根据郭含茹<sup>[43]</sup>和李明泽<sup>[42]</sup>等人研究,可以通过建立多元线性回归统计模型和GWR模型的方法构建地位级模型。通过对传统回归方法的扩展得到GWR模型,该模型能够对局部参数进行估计,其本质主要是为各要素(数据集中)建立独立的方程。另外,该研究通过用1个或多个自变量且结合样本信息的空间关系构成的空间权重综合影响得到研究区内每个因变量的参数估计。利用GWR模型以一个距离的衰减函数进行加权,从而得到函数的回归系数即观测点地理位置的位置函数<sup>[44]</sup>。

### 3.2.4 模型比较

依据前人的结果表明,可以根据决定系数 $R_{adj}^2$ 、均方根误RMSE及AIC值3个统计量对全局模型(多元线性回归模型)和局域模型(GWR模型)的拟合效果进行评价和判断。王烁和李明泽等人研究结果均表明多元线性回归模型的评价效果要比GWR模型对于立地质量评价的效果相对较差,GWR模型具有较高的模型拟合系数、同时RMSE值AIC值更小、检验精度也更高,具有更为理想的模型残差,降低了模型空间的自相关性<sup>[41,45]</sup>。

## 4 展望

“3S”技术应用于森林立地分类和质量评价,不

但能实现更客观和精确得多因素(多主导因子)分类,也能为森林立地分类与质量评价研究成果的空间落实提供有效途径,利于研究成果在实际生产中发挥作用,并为主导因子空间及属性数据库的建立提供一个精准便捷的平台。进一步通过“3S”等信息技术逐步实现立地分类与立地质量评价的自动化将是森林立地分类发展趋势。

随着科学技术的发展,在森林生态学基础上,森林立地分类和质量评价将得到统一,并形成一个包含各层次水平的完整评价体系。特别是计算机的普及应用,为我们全面准确地获取立地信息和进行信息加工提供了科学手段,未来的立地分类和质量评价将是综合性的,包含多个因子、多个层次,也将更加依靠计算机技术和遥感信息技术的发展。应用现代数学方法和计算机、遥感技术进行的定量分类,多目标、多功能的森林立地分类和质量评价,从定性到定量再到数字化分类,是森林立地分类发展趋势<sup>[5]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 王菲. 森林立地分类及质量评价研究综述[J]. 林业科技情报, 2010, 42(1): 12~12.
- [2] 林民治. 森林立地分类与质量评价综述[J]. 林业与环境科学, 1987, (5): 18~20.
- [3] 张雅梅, 何瑞珍, 安裕伦. 基于RS与GIS的森林立地分类研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(4): 147~152.
- [4] 滕维超, 万文生, 王凌晖. 森林立地分类与质量评价研究进展[J]. 南方农业学报, 2009, 40(8): 1110~1114.
- [5] 朱万才, 李亚洲, 李梦. 森林立地分类方法研究进展[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2011, (1): 24~25.
- [6] 沈金泉. 基于GIS技术的福建省森林立地类型分类及其景观空间格局[D]. 福建农林科技大学, 2005.
- [7] 邝立刚, 梁守伦, 雍鹏. 山西省立地类型区划——山西省立地类型划分与造林模式研究(I)[J]. 山西林业科技, 2008, (4): 1~4.
- [8] 马天晓. 基于人工神经网络的森林立地分类与评价[D]. 河南农业大学, 2006.
- [9] 杜健. 柚木人工林生长与立地类型研究[D]. 中国林业科学研究院, 2016.
- [10] 范金顺, 高兆蔚, 蔡元晃, 等. 福建省森林立地分类与立地质量评价[J]. 林业勘察设计, 2012, (1): 1~5.
- [11] 顾云春. 巴登—符腾堡分类法与中国的立地分类[J]. 林业资源管理, 1993, (2): 46~49.
- [12] 张志云, 蔡学林, 欧阳勋志. 森林立地研究综述[J]. 江西农业大学学报, 1997, (6): 166~173.
- [13] 雷瑞德. 苏联的森林资源和林型学说[J]. 西北林学院学报,

- 1988,(2).
- [14] 汪祥森. 国外森林立地分类和立地质量评价[J]. 中南林业调查规划,1990,(1):53~58.
- [15] 季碧勇. 基于森林资源连续清查体系的浙江省立地分类与质量评价[D]. 浙江大学,2014.
- [16] 周永斌,邹晓明. 从适地适树到适钙适树的理论与例证[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2017,41(2):1~8.
- [17] 陈昌雄. 天然常绿阔叶林生长潜力及择伐经营研究[D]. 南京林业大学,2005.
- [18] 南方十四省(区)杉木协作组. 杉木立地条件的系统研究及应用[J]. 林业科学,1983,19:246~254.
- [19] 沈国舫,杨敏生,韩明波. 京西山区油松人工林的适生立地条件及生长预测[J]. 林业科学,1985,21(1):10~19.
- [20] 张万儒. 中国森林立地[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [21] 范小洪,徐东. 森林立地分类及立地质量评价[J]. 四川林业科技,1995,(2):61~64.
- [22] 王娟. 5·12地震北川县震后受损林地立地类型划分及其质量评价[D]. 北京林业大学,2012.
- [23] 余其芬,唐德瑞. 基于遥感与地理信息系统的森林立地分类[J]. 西北林学院学报,2003,18(50):87~90.
- [24] 丰绪霞,刘兆刚,张海玉,等. 基于RS和GIS帽儿山林场森林立地分类及质量评价[J]. 东北林业大学学报,2010,38(8):27~30.
- [25] 曹善寿. 云南林业信息化建设和森林资源管理[J]. 西部林业科学,2003(3):59~63.
- [26] 王永昌,张金池. 基于遥感技术的云台山立地分类及质量评价[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2007,31(1):85~89.
- [27] 张晓丽,游先祥. 应用“3S”技术进行北京市森林立地分类和立地质量评价的研究[J]. 遥感学报,1998,2(4):292~295.
- [28] 刘献伦,王迎,赵登超. 利用GIS技术进行山东省立地类型划分[J]. 山东林业科技,2007(4):7~10.
- [29] 史良树. 遥感技术现状及其在林业中的应用[J]. 林业资源管理,2004,(2):50~63.
- [30] 刘宗义. 环境地图中多元信息叠置分析方法的探讨[J]. 环境研究与监测,1989,(4):42~44.
- [31] 曾春阳. 基于GIS的小班立地因子提取与立地评价研究[D]. 中南林业科技大学,2008.
- [32] 吴菲. 基于“3S”技术帽儿山林场森林立地分类及质量研究[D]. 东北林业大学,2010.
- [33] 曾晶,张晓丽. 福建龙栖山国家级自然保护区森林立地分类研究[J]. 西北林学院学报,2016,31(1):192~198.
- [34] CRIST E P, CIGONE R C. A physically - based transformation of the matic mapper data - the TM tasseled cap[J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing,1984,(3):256~263.
- [35] 巩垠熙,高原,仇琪,等. 基于遥感影像的神经网络立地质量评价研究[J]. 中南林业科技大学学报,2013,33(10):42~47.
- [36] 李强,王正志. 遥感图像数字处理系统的发展综述[J]. 遥感技术与应用,1998,13(4):54~58.
- [37] CPLEMAN T L, AGBU P A, MONTGOMERY O L. Spectral differentiation of surface soils and soil properties; is it possible from space platforms[J]. Soil Science,1993,155:283~293.
- [38] THOMPSON D R, HENDERSON K E, HOUSTON A G, et al. Variation in alluvial-derived soils as measured by landsat thematic mapper[J]. Soil Science Society of America Journal,1984,48:137~142.
- [39] 周道玮,田雨,王敏玲,等. 覆沙改良科尔沁沙地 - 松辽平原交错区盐碱地与造田技术研究[J]. 自然资源学报,2011,(6):910~918.
- [40] 郭建斌,刘颖,游先祥. 基于“3S”技术的鹭峰森林公园立地分类及制图研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(32):16167~16170.
- [41] 李明泽,郭鸿郡,范文义,等. 基于GWR的大兴安岭森林立地质量遥感分析[J]. 林业科学,2017,53(6):56~66.
- [42] 文军,王介民. 一种由卫星遥感资料获得的修正的土壤调整植被指数[J]. 气候与环境研究,1997,2(3):105~112.
- [43] 郭含茹,张茂震,徐丽华,等. 基于地理加权回归的区域森林碳储量估计[J]. 浙江农林大学学报,2015,32(4):497~508.
- [44] 李程. 基于空间统计分析的储备林树种立地指数预估研究[J]. 中国林业科学研究院,2016:1~69.
- [45] 王烁,李凤日,赵颖慧,等. 基于空间模型的白河林业局天然红松分布[J]. 北京林业大学学报,2015,37(10):73~85.