

南北过渡带1:5万植被类型图遥感制图案例研究

姚永慧¹, 张俊瑶^{1,2}, 索南东主^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 编制南北过渡带地区1:25万和典型山地1:5万植被类型图是南北过渡带综合科学考察的主要任务之一。以往植被类型图的编制都是采用大量的地面调查来完成的,地面调查方法虽然精确,但费时费力,并且由于自然条件的限制,地面调查往往只能覆盖较小的范围。遥感数据因为其全覆盖的优势,可以很好地弥补样方调查的局限性,但目前大范围的植被类型遥感信息提取尤其是自动提取方面仍然存在一定的困难和瓶颈。本文以1:5万太白山植被类型图的编制为例,利用多源多时相的高分辨率遥感数据,结合地面调查数据、以往的各种比例尺的植被类型图数据和森林资源调查数据等,探讨并研究基于山地垂直带谱的中大比例尺植被类型图的遥感提取方法和制图方法。研究表明:①山地植被垂直带谱可以有效地支持1:5万山区植被类型图的遥感制图。利用太白山植被垂直带谱和1:1万数字表面模型数据(DSM)可以生成具有垂直带谱信息的地形约束因子;将地形约束因子与多源多时相高分辨率遥感数据、地面调查数据、以往的小比例尺植被类型图数据等相结合,可以有效提取各级植被类型,从而实现中大比例尺植被类型图的编制。②典型山地1:5万植被类型图的遥感制图基本流程为植被型组解译→植被群系组、群系、亚群系解译→植被型、植被亚型分类,采取自上而下和自下而上相结合的分类方法来分类。本文的研究成果可以为中大比例尺植被类型图的编制提供示范和科学依据。

关键词: 植被类型图;高分遥感;太白山;植被垂直带谱;遥感解译

DOI: 10.11821/dlxb202003013

1 引言

1957年以前,中国的植被制图主要以小比例尺的植被概图和植被区划图为主,植被制图研究处于分散和自发性的初期阶段^[1],代表性的图集有1956年钱崇澍等发表的《中国植被区划草案图》^[2]和侯学煜等发表的《中国植被—土壤分区图》^[3]。1957年以后,中国各地陆续进行了许多规模较大的植被考察和植被区划工作,加上引进了苏联的植被制图理论和方法,从而使中国的植被制图研究达到了一个新的相对成熟的阶段^[1],代表性的图集有《1:4000000 中华人民共和国植被图》^[4]。1979年中国科学院植物研究所根据国家农业委员会、国家科学技术委员会和中国科学院提出的研究课题,组织全国植被制图学界成立了由侯学煜任主编(后由张新时院士任主编)的中国植被图编辑委员会,编制了1:1000000的中国植被图。从1981年开始在各省区展开植被调查,全国共有250余位植被学专家参与,先后举行了多次学术会议,并于2000年出版《1:1000000 中国植被图

收稿日期: 2018-12-17; 修订日期: 2019-12-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871350, 41571099); 科技基础资源调查项目(2017FY100900) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41871350, No.41571099; Scientific and Technological Basic Resources Survey Project, No.2017FY100900]

作者简介: 姚永慧(1975-), 女, 湖北安陆人, 博士, 副研究员, 研究方向地理时空数据分析。E-mail: yaoyh@reis.ac.cn

集》^[5]。该图集是迄今为止最详细和最准确的全国性植被图。

上述植被制图都是在传统地面调查的基础上, 耗费大量的人力、物力和时间才完成的。一方面, 由于当时的计算机技术和遥感技术的发展还处于起步阶段, 遥感数据源很有限, 利用遥感数据进行植被制图的条件还不成熟; 另一方面, 当时的环境条件下, 通过地面调查编制小比例尺的植被图可以满足当时的社会需求。21世纪, 遥感技术蓬勃发展, 利用遥感数据进行大范围的土地利用与土地覆盖变化研究、植被覆盖变化、植被物候监测及森林资源调查等已经非常普遍。刘纪远等以卫星遥感数据作为主要信息源, 建成中国国家尺度土地利用变化数据库, 并每隔5年采用同类卫星遥感信息源和相同的数据分析方法, 完成全国范围的土地利用数据更新^[6-9]。将NDVI与物候信息相结合, 采用决策树法进行森林资源监测和植被信息提取已经是比较常用和成熟的方法^[10-13], 如Chen等将具有光谱和物候信息的多时相Landsat影像与具有较好林地结构信息的雷达数据相结合, 采用决策树法对海南岛地区热带雨林和橡胶人工林进行了分类和识别^[10]; 雷光斌等结合生长季和非生长季的多时相遥感影像, 采用决策树法实现了山地森林类型的自动提取^[11]; 贾明明等结合HJ-1 CDD的光谱和纹理特征, 以及MODIS时序数据的物候特征, 采用面向对象的分类方法对森林植被类型进行提取, 结果表明采用加入物候特征的面向对象分类方法可大幅提高森林类型的分类精度^[13]。近年来, 遥感协同反演成为研究前沿。基于地理辅助知识库和多源遥感数据, 通过遥感协同反演开展对地表时空变化特征参数的定量描述以及基于知识库的地表参数综合反演, 可以建立时空多要素的信息模型和以系统先验知识为辅助的参数反演理论方法体系^[14-17]。遥感协同反演通过发挥多传感器的空间信息和光谱特征的组合优势, 在植被遥感制图中具有很强的应用价值。

随着遥感信息提取理论与方法的发展, 利用多源遥感大数据, 展开中、大比例尺的植被制图的条件已经成熟。在国家基础资源调查专项项目“中国南北过渡带综合科学考察(2017FY100900)”中, 需要对全区的植被、土壤、气候、水文等资源进行综合、全面的调查, 其中一项重要的任务就是利用遥感数据并结合野外调查编制全区1:25万的植被类型图和神农架、宝天曼等4个典型山地的1:5万的植被类型图。此外, 南北过渡带在中国地理—生态格局中具有特别突出的地位和意义, 在全球变化大背景下, 编制过渡带中大比例尺植被类型图对于深入研究过渡带内植被的时空变化规律^[18-19]、揭示中国自然地理生态格局及查明全球变化背景下中国自然地理变化特征^[20]等均具有重要的科学与指示意义。因此, 本文以1:5万太白山植被类型图的编制为例, 基于多源多时相的高分辨率遥感数据, 结合太白山的山地垂直带谱、地面调查数据、以往的1:100万植被类型图数据及地方或区域上的各类植被图、森林资源调查数据等, 研究基于多源信息的中大比例尺植被类型图的遥感制图方法, 为过渡带中大比例尺植被类型图研究提供示范。

2 秦岭太白山植被概况

太白山位于陕西境内秦岭的中部(107°41'23"E~107°51'40"E, 33°49'31"N~34°08'11"N), 是中国暖温带的南缘, 亚热带的北界, 其自然地理位置特殊(图1)。冬季受蒙古冷气团的控制, 夏季受太平洋副高压带的影响, 南北交替, 气候过渡; 东临中国东部湿润平原, 西接青藏高原, 生物种群呈南北、东西过渡的特征。根据吴征镒对中国种子植物区系的划分, 太白山属于泛北极植物区、中国—日本森林植物亚区、华中地区^[21]。温带性质的科在该研究区植物区系和植被组成中占主导地位, 如菊科、蔷薇科、毛茛科、莎草科、伞形科、虎耳草科、蓼科等具有明显的温带性质; 此外, 典型的温带分布或亚

热带—温带分布、但以温带分布为主的科有松科、杨柳科、槭树科、小檗科、忍冬科、桦木科、百合科、壳斗科、桔梗科等。

因南北坡气候的差异，太白山南北坡植被垂直带谱有所不同，主要表现在基带特征及各垂直带的分布高度上(图2)。北坡基带为以栓皮栎林为代表的落叶阔叶林；南坡基带为含常绿树种的落叶阔叶林，除栓皮栎、麻栎外，常有小青冈和岩栎等常绿树种混生其中^[24]。另外，北坡有比较明显的辽东栎林亚带，南坡则无。辽东栎是一种典型的华北植物区系成分，在秦岭南坡，除西秦岭凤县一带有分布外，一般很难见到。辽东栎林的出现与否是秦岭南北坡植被垂直带差异的明显标志之一^[24]。

3 数据来源与研究方法

3.1 数据来源

本文用来进行植被制图的主要数据来源为高分遥感数据、数字表面模型(DSM)数据、遥感地面调查数据和样方调查数据等。

3.1.1 高分遥感数据 太白山植被分类中使用的遥感数据以国产卫星影像为主要数据源(表1)，包括4景高分二号影像、13景高分一号影像和21景ZY-3影像。其中，高分二号影像融合后分辨率为0.8 m；覆盖整个研究区的10景全色和11景多光谱ZY-3影像融合后分辨率为2 m；高分一号影像融合后分辨率为2 m；此外，还有高分一号16 m多光谱影像5景。这些影像在时间上从2015年1月—2018年2月，覆盖了春、夏、秋、冬四个时相，为植被型边界的分割提取提供了保障。所有选用影像如表1所示。

3.1.2 地面调查数据 本文中辅助遥感解译的另一类重要数据是遥感地面调查数据和样方数据。2018年6月8—15日研究团队在太白山展开实地调查，通过奥维地图将遥感影像与GPS采样相结合，获取了研究区286个遥感地面调查数据，数据包括样点的地理位置、植被型组、植被型及植被群系/亚群系等信息；样方调查及其它森林资源调查数据共181个(图1)，该数据来源于陕西太白山国家级自然保护区综合考察项目。

3.1.3 DSM数据 太白山1:1万的DSM数据(分辨率10 m)是根据资源三号卫星影像生成的，本文中主要用来提取精细尺度的坡度、坡向、海拔高度及地表覆盖数据。

3.1.4 太白山植被图数据 主要包括《1:1000000中国植被图》和收集到的“陕西太白山国家级自然保护区综合考察项目”于2006年左右编制的太白山植被分布图。这些前期的植被图可以为植被类型的划分提供定性的参考和对比研究。

3.2 研究方法

3.2.1 秦岭太白山1:5万植被类型图的分类系统 “秦岭太白山1:5万植被类型图”的分

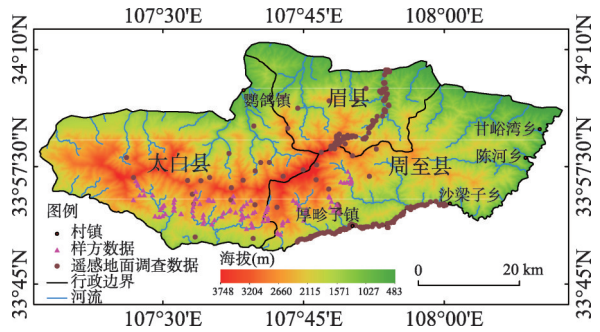


图1 太白山概况及遥感地面调查样点分布
Fig. 1 Outline of Taibai Mountain and the distribution of ground survey samples

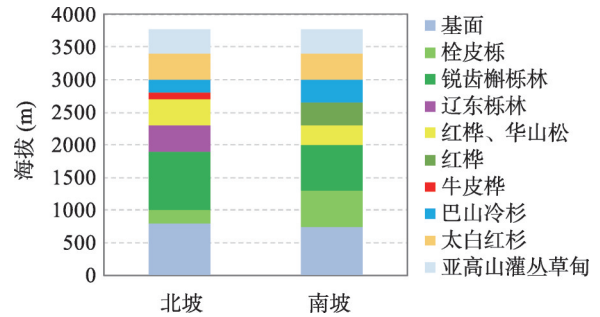


图2 太白山南北坡植被垂直带谱
注：据李海宁、方正等整理^[19-20]。
Fig. 2 Mountain altitudinal belts of Taibai Mountain

表1 太白山高分遥感数据

Tab. 1 Remote sensing images of Taibai Mountain

| 传感器 | 获取时间 | 分辨率(m) | 传感器 | 获取时间 | 分辨率(m) |
|-----|-------------|--------|-------------|-------------|--------|
| GF2 | 2017年8月3日 | 0.8 | ZY3 | 2017年9月28日 | 2 |
| | 2017年9月7日 | 0.8 | | 2017年8月5日 | 2 |
| | 2017年9月7日 | 0.8 | | 2016年8月31日 | 2 |
| | 2017年8月3日 | 0.8 | | 2018年2月3日 | 2 |
| GF1 | 2016年8月28日 | 2 | | 2018年2月8日 | 2 |
| | 2016年11月30日 | 2 | | 2017年9月28日 | 2 |
| | 2017年10月28日 | 2 | | 2017年8月5日 | 2 |
| | 2017年2月12日 | 2 | | 2016年8月31日 | 2 |
| | 2016年8月28日 | 2 | | 2018年2月3日 | 2 |
| | 2016年11月30日 | 2 | | 2018年2月8日 | 2 |
| | 2017年10月28日 | 2 | | 2017年7月14日 | 2 |
| | 2017年2月12日 | 2 | | 2016年9月22日 | 2 |
| | 2017年8月8日 | 16 | | 2016年9月22日 | 2 |
| | 2015年1月20日 | 16 | | 2016年11月10日 | 2 |
| | 2015年10月1日 | 16 | | 2017年11月4日 | 2 |
| | 2017年7月1日 | 16 | | 2017年1月13日 | 2 |
| ZY3 | 2017年2月12日 | 16 | 2017年7月14日 | 2 | |
| | 2017年11月4日 | 2 | 2016年9月22日 | 2 | |
| | 2017年1月13日 | 2 | 2016年11月10日 | 2 | |

类系统仍采用《1:1000000中国植被图》的分类体系,但在最低一级的群系组、群系和亚群系上根据实际情况进行细化。《1:1000000中国植被图》的分类系统采用六级分类单位,即植被型组、植被型、植被亚型、群系组、群系和亚群系。图例系统共分四级,分别为:第一级:11个植被型组,分别是:针叶林、针阔混交林、阔叶林、灌丛、荒漠、草原、草丛、草甸、沼泽、高山植被、栽培植被;第二级:53个植被型和2个植被亚型,共55个单位;第三级:11个群系组、571个群系和4个亚群系,共586个单位,是该图的基本制图单位;第四级:29个群系、244个亚群系,共273个单位,是该图的低级制图单位。

在原《1:1000000中国植被图》中,太白山的植被被划分为6个植被型组(针叶林、阔叶林、灌丛、草丛、草甸和栽培植被)、11个植被型和亚型、24个植被群系和亚群系。本次实验中,将太白山植被也划分为6个植被型组:针叶林、针阔混交林、阔叶林、灌丛、草甸和栽培植被;12个植被型和植被亚型,52个植被群系组、群系和亚群系,具体分类如表2所示。根据太白山的实地考察和其他相关的调查研究来看,太白山存在一定比例的针阔混交林,而草丛这一植被型组目前在太白山没有大面积出现,因此在植被型组的划分上与原《1:1000000中国植被图》有所不同。相应地,植被型和植被群系的划分也不尽相同,尤其是植被群系组、群系和亚群系比《1:1000000中国植被图》中的分类增加了28个类型。

3.2.2 太白山植被类型的遥感解译方法 太白山植被类型的遥感解译基本上按如下流程来展开:首先,根据太白山1:1万的DSM数据和太白山垂直带谱的分布高度信息提取研究区的主山脊线、坡向和相应垂直带的海拔高度数据,通过这3类地形因子生成太白山植被类型图的地形约束因子(图3);其次,结合太白山南北坡的植被垂直带图谱,分析

表 2 太白山植被分类系统
Tab. 2 Vegetation classification system of Taibai Mountain

| 植被型组 | 植被型、亚型 | 植被群系组、群系和亚群系 |
|-------|-------------------|--|
| 草甸 | 蒿草、杂类草高寒草甸 | 圆穗蓼、珠芽蓼草甸 |
| | 温带禾草、杂类草草甸 | 大批针草、禾草草甸 大披针草、杂类草草甸 |
| 灌丛 | 亚高山落叶阔叶灌丛 | 怀腺柳灌丛 蒙古绣线菊灌丛 |
| | 亚高山常绿草叶灌丛 | 高山杜鹃灌丛 金背杜鹃灌丛 太白杜鹃灌丛 头花杜鹃灌丛 |
| 针叶林 | 温带针叶林 | 侧柏林 油松林 |
| | 亚热带和热带山地针叶林 | 巴山冷杉、太白红杉林 巴山冷杉林 太白红杉林 |
| | 亚热带针叶林 | 华山松、巴山冷杉林 华山松林 |
| 针阔混交林 | 温带针叶、落叶阔叶混交林 | 侧柏、锐齿槲栎林 侧柏、栓皮栎林 油松、短柄枹林 油松、锐齿槲栎林 油松、栓皮栎林 |
| | 亚热带山地针叶、落叶阔叶混交林 | 巴山冷杉、红桦林 巴山冷杉、牛皮桦林 华山松、刺叶栎林 华山松、短柄枹林 华山松、红桦林 华山松、榧子栎林 华山松、辽东栎林 华山松、牛皮桦林 华山松、锐齿槲栎林 华山松、山毛榉林 华山松、山杨林 华山松、栓皮栎林 华山松、铁橡树林 |
| 阔叶林 | 温带落叶阔叶林 | 红桦、辽东栎林 红桦林 榧子栎林 辽东栎林 牛皮桦林 锐齿槲栎、枫杨林 锐齿槲栎、麻栎林 锐齿槲栎、山杨林 锐齿槲栎、栓皮栎林 锐齿槲栎林 山杨、辽东栎林 山杨林 栓皮栎、锐齿槲栎林 栓皮栎、小叶杨林 栓皮栎、榆树林 栓皮栎林 |
| 栽培植被 | 两年三熟或一年两熟旱作 果园 | 冬小麦、玉米、高粱 板栗、核桃 |

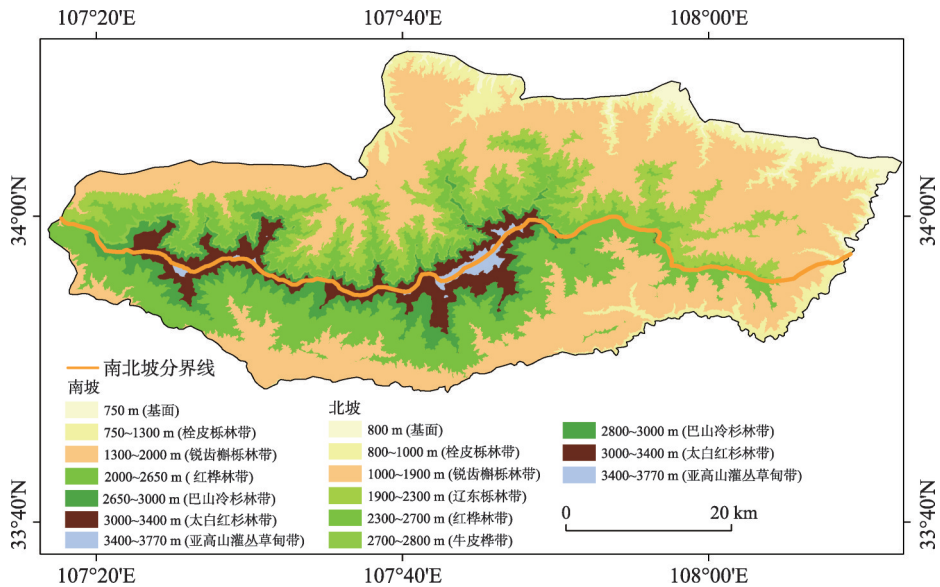


图3 基于垂直带的地形约束因子分布图

Fig. 3 Terrain constraint factor map with mountain altitudinal belt information

并提取南北坡针叶林、阔叶林、针阔混交林、灌丛草甸等植被型组；然后，根据主要植被群系组、群系、亚群系的分布高度（各类垂直带上下限）及影像特征，划分植被群系组、群系和亚群系；最后，根据植被群系的区域地理特性及气候条件，结合植被型组的特征，确定植被型和亚型。

在地形约束因子的辅助下，根据太白山 0.8 m 和 2 m 的高分辨率遥感影像的光谱特征、纹理特征等，通过目视解译确定植被型组（图4）。首先，灌丛与草甸分布于 3400 m 以上的山顶位置，二者在夏季的影像上具有明显不同的纹理特征。其次，灌丛与针叶林带的划分，灌丛带的下部为太白红杉林，二者在夏季、秋季的影像上具有不同的光谱和

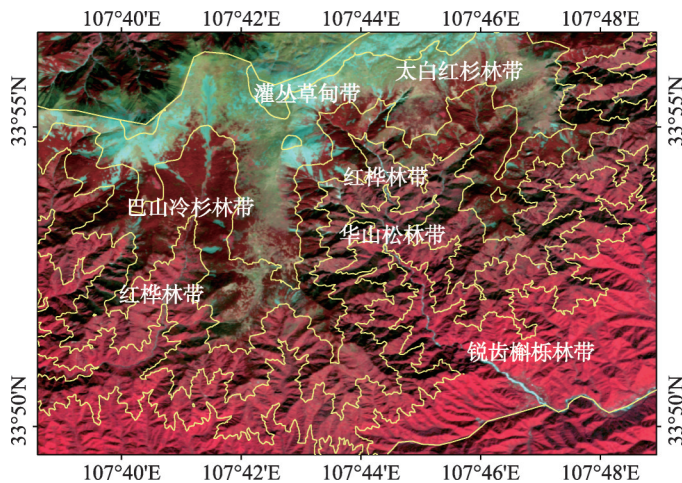


图4 地形约束因子与高分影像叠合图

(南坡, 时相: 2017年2月12日; 分辨率: 2 m; 波段组合: 432 假彩色)

Fig. 4 Terrain constraint factor map overlaying with remote sensing images

(South slope, Time: 2017/02/12; Resolution: 2 m; Band combination: 432 pseudo-color)

纹理特征, 比较容易区分。第三, 针叶林和阔叶林、针阔混交林的划分, 太白山的阔叶林为温带落叶阔叶林, 其上界由红桦和牛皮桦林组成, 而针叶林带的下界为华山松林或巴山冷杉; 针阔混交林主要是巴山冷杉与红桦林、华山松与红桦林、华山松与辽东栎林组成的混交林。在冬季的高分影像上, 阔叶林和针叶林、针阔混交林的光谱特征明显不同, 因此从冬季假彩色影像上也可以准确地划分出阔叶林和针叶林的界线。另外, 栽培植被与自然植被具有不同的纹理和结构特征且多分布在800 m以下的山麓地带。

在植被型组划分的基础上, 进一步划分太白山主要的植被群系组、群系和亚群系。华山松、巴山冷杉和太白红杉是太白山针叶林植被型组中的主要群系, 在地形约束因子分布图上, 三者具有明显不同的分布高度和范围; 在秋、冬季的影像图上, 三者具有明显不同的光谱特征和纹理特征; 尤其是巴山冷杉在假彩色影像上具有很特殊的光谱特征, 可以很准确地提取它的分布范围(图4)。巴山冷杉的下部是华山松林, 其上部是太白红杉林, 因此, 通过巴山冷杉林带的划分, 可以将这三类针叶林植被群系准确的划分开来。太白山落叶阔叶林自下而上依次分布有栓皮栎林、锐齿槲栎林、红桦林和牛皮桦林, 北坡在红桦林的下部有辽东栎林。各种阔叶林植被群系的划分是本文的难点, 除影像特征外, 主要依据地形约束因子、地面调查数据、原有的植被类型图数据来进行划分。

最后, 根据遥感地面调查样点和样方调查数据, 提取并确定全部植被群系空间分布特征。在上述植被型组和主要植被群系分类的基础上, 利用不同季节的2 m和16 m的多光谱遥感影像, 分析各植被群系光谱特征、NDVI等特征随季节变化的规律, 植被群系之间的分布关系等, 通过目视解译提取所有植被群系。

4 太白山植被类型的遥感信息解译结果

4.1 植被型组的解译结果

植被型组的解译结果如图5所示。太白山植被型组的分布具有明显的垂直地带性, 研究区内从下至上依次为: 栽培植被、阔叶林、针阔混交林、针叶林、灌丛和草甸; 本次实验区的南坡未出现栽培植被。全区阔叶林面积722.17 km², 针叶林面积493.44 km², 针阔混交林的面积720.40 km², 三者占整个研究区的91.58%。

4.2 植被群系组、群系和亚群系的解译结果

本次实验中, 太白山植被共有52个群系组、群系和亚群系(表1), 遥感目视解译的结果如图5所示。其中, 最主要的七大群系自下而上分别为栓皮栎林、锐齿槲栎林、辽东栎林、红桦林、华山松林、巴山冷杉林和太白红杉林, 并且表现出明显的垂直地带性; 辽东栎林仅在北坡出现, 且其分布海拔高度常与华山松相同。以上七大主要群系的面积约占总面积的60%。

4.3 植被型和植被亚型的解译结果

在12个植被型和植被亚型中(表1), 温带落叶阔叶林是最大的一类植被型, 占实验区总面积的34.16%; 其次为亚热带山地针叶、落叶阔叶混交林, 占总面积的28.19%; 第三为亚热带和热带山地针叶林, 占总面积的14.07%; 亚热带针叶林(主要为华山松林)也占有较大的比重, 约占总面积的8.60%。以上4种植被型和亚型占研究区总面积的85.02%。这4类主要的植被型和植被亚型也表现出明显的垂直分布规律, 自下而上依次为温带落叶阔叶林, 亚热带山地针叶、落叶阔叶混交林, 亚热带针叶林和亚热带和热带山地针叶林。从本次实验研究中植被型的组成来看, 太白山温带植被型、亚型的比重要高于亚热带和热带植被型、亚型的比重, 植被组成与分布表现出从亚热带向温带过渡的特征。

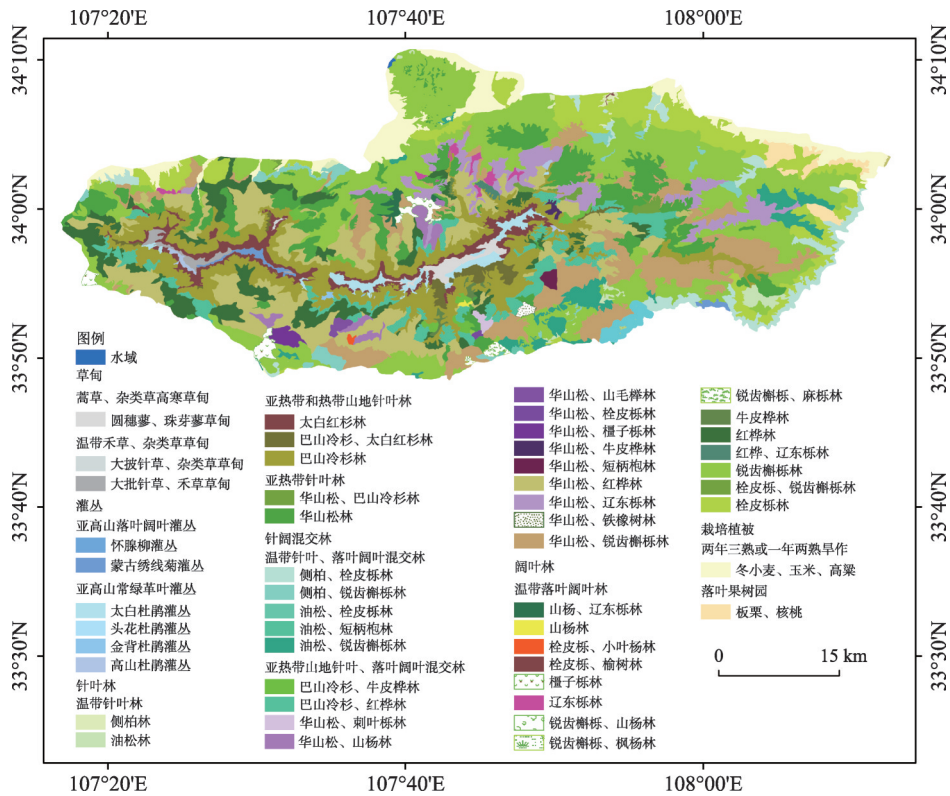


图5 太白山植被类型图

Fig. 5 Vegetation type map of Taibai Mountain

5 结论与讨论

5.1 结论

(1) 以上实验研究表明, 植被垂直带谱、植被地理分布等信息可以有效地支持植被遥感分类和植被遥感制图。首先, 在基于植被垂直带谱的地形约束因子的辅助下, 利用不同时相遥感影像, 可以很精确地提取太白山的各植被型组; 在6个植被型组分类的基础上, 根据地形约束因子和影像光谱特征, 可以区分并提取7种主要的植被群系如华山松林、巴山冷杉林、太白红杉林及红桦林等; 此外, 根据植被的垂直分布规律、各植被群系之间的关系及地面调查数据和以往各种植被类型图数据等, 可以进一步确定其它植被群系; 最后, 在植被型组和植被群系分类的基础上, 可以根据植被群系及其相应的地理分布、研究区所处的气候条件等, 确定其所属的植被型和亚型。

(2) 1:5万植被类型图遥感制图的基本流程为植被型组解译→植被群系组、群系、亚群系解译→植被型、植被亚型分类, 采用自上而下和自下而上相结合的分类方法进行。在植被类型图的分类系统中, 植被型组是植被类型图的最高级分类单位, 主要是根据建群种群落的形态外貌特征划分的, 但也包含了一定的生态内容。植被型和亚型是植被分类系统中介于植被型组和植被群系组、群系、亚群系之间的高级分类单位, 在植被型组内, 把建群种生活型相同或近似, 同时对水热条件生态关系一致的植物群落联合为植被型, 因此植被型的划分主要根据的是群落的环境条件, 对地带性植被来讲植被型

是指一定的气候区域的产物,对隐域性植被来讲是指群落的特殊生境条件;植被亚型是植被型的辅助单位,反映的是气候亚带的差异或一定的地貌、基质条件的差异引起的植被层片结构差异。植被群系组、群系、亚群系是植被类型图的基本制图单位,主要是根据建群种或共建种来划分的,即建群种或共建种相同或近似。但在植被遥感分类制图中,针对这三级植被分类制图单位,植被型组和植被群系组、群系、亚群系这两级指标可以根据影像的纹理、结构特征和光谱特征等影像特征结合垂直带谱等辅助信息来解译,而植被型、亚型的确定无法通过影像特征来直接解译,需要根据植被型组的类型以及植被群系组、群系、亚群系的气候条件和生境条件来分类。因此,植被类型图的遥感制图基本流程为先划分出植被型组,然后在植被型组内划分出植被群系组、群系、亚群系类型,最后根据建群种等的群落生境和所处的气候区域来确定其植被型和亚型。

5.2 讨论

(1) 长白山1:5万植被类型图的遥感分类中仍有部分植被群系存在一定的难分性。本次实验结果也显示出部分植被群系的难分性,首先,栓皮栎林和锐齿槲栎林这两种植被群系在影像特征上很难区分,虽然锐齿槲栎林分布在栓皮栎林的上部,但如果地面调查数据有限,根据垂直分布规律很难找到二者之间的准确的分布界线,因此在分类上有一定的不确定性;其次,北坡辽东栎林的划分问题,辽东栎林在影像特征上与其下部的锐齿槲栎林也很难区分,也需要大量的地面调查数据支撑,才能正确的提取其分布信息;最后,针阔混交林的划分问题,长白山有相当一部分的针阔混交林,目前的划分方法是根据各植被群系之间的关系和影像特征来判断,也存在一定的不确定性。

(2) 本文的实验研究仍采用目视解译、辅助监督分类的方法来进行。后续的研究中,我们将研究并建立集地学信息图谱(垂直带信息图谱、地形地貌控制因子等)、植被地理及以往植被分类信息的多源植被分类知识库;根据知识迁移的方法,构建一套基于先验知识的植被遥感分类方法^[17];在此基础上,通过对基于多示例学习理论的决策树分类算法^[25]及基于多元分析检测的变化分析等方法的深入应用,实现较高精度的计算机自动提取与人工交互解译相结合的植被类型遥感信息提取^[26]。目前,遥感信息提取已经从传统的目视解译、半自动解译发展到结合专家知识的自动信息提取阶段,自组织神经网络、模糊逻辑推理、支持向量机等人工智能的方法被广泛应用到植被等专题要素的信息提取中^[15]。在计算机技术的支持下,可以高效地将各种地理辅助知识和其它专业知识通过知识迁移、主动学习或深度学习等方法与遥感信息计算模型相结合,从而实现更高精度的遥感信息提取。

参考文献(References)

- [1] Chinese Vegetation Map Editorial Committee, Chinese Academy of Sciences. Vegetation and its Geographical Patterns in China: Instructions for Vegetation Maps of the People's Republic of China. Beijing: Geology Press, 2007. [中国科学院中国植被图编辑委员会. 中国植被及其地理格局: 中华人民共和国植被图说明书. 北京: 地质出版社, 2007.]
- [2] Chinese Vegetation Map Editorial Committee, Chinese Academy of Sciences. Atlas of 1:1000000 Chinese Vegetation. Beijing: Science Press, 2000. [中国科学院中国植被图编辑委员会. 1:1000000中国植被图集. 北京: 科学出版社, 2000.]
- [3] Qian Chongshu. Draft of Vegetation Regionalization in China. Beijing: Science Press, 1956. [钱崇澍. 中国植被区划草案. 北京: 科学出版社, 1956.]
- [4] Hou Xueyu, Ma Rongzhi. Vegetation-soil Zoning Map of China. Beijing: Map Press, 1956. [侯学煜, 马溶之. 中国植被—土壤分区图. 北京: 地图出版社, 1956.]
- [5] Hou Xueyu, Sun Shizhou, Zhang Jingwei, et al. Vegetation Map of the People's Republic of China (1:4000000). Beijing: Map Press, 1979. [侯学煜, 孙世洲, 张经纬, 等. 中华人民共和国植被图(1:4000000). 北京: 地图出版社, 1979.]
- [6] Liu Jiyuan. Dynamic Survey and Research of Resources and Environment in China. Beijing: China Science and

- Technology Press, 1996. [刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.]
- [7] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995-2000. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2003, 46(4): 373-384.
- [8] Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, Zhuang Dafang, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s. *Geographical Research*, 2003, 22(1): 1-12. [刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. *地理研究*, 2003, 22(1): 1-12.]
- [9] Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(4): 483-494.
- [10] Chen B Q, Li X P, Xiao X M, et al. Mapping tropical forests and deciduous rubber plantations in Hainan Island, China by integrating PALSAR 25-m and multi-temporal Landsat images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016, 50: 117-130.
- [11] Lei Guangbing, Li Ainong, Tan Jianbo, et al. Forest types mapping in mountainous area using multi-source and multi-temporal satellite images and decision tree models. *Remote Sensing Technology and Application*, 2016, 31(1): 31-41. [雷光斌, 李爱农, 谭剑波, 等. 基于多源多时相遥感影像的山地森林分类决策树模型研究. *遥感技术与应用*, 2016, 31(1): 31-41.]
- [12] Jia Mingming, Ren Chunyin, Liu Dianwei, et al. Object-oriented forest classification based on combination of HJ-1 CCD and MODIS NDVI data. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(24): 7167-7174. [贾明明, 任春颖, 刘殿伟, 等. 基于环境星与MODIS时序数据的面向对象森林植被分类. *生态学报*, 2014, 34(24): 7167-7174.]
- [13] Hu Bo, Ju Hongbo, Liu Hua, et al. Combining multiple classifiers based on evidence theory for large scale vegetation types classification by remote sensing images. *Forestry Research*, 2017, 30(2): 194-199. [胡博, 鞠洪波, 刘华, 等. 基于证据理论组合多分类规则实现大区域植被遥感分类研究. *林业科学研究*, 2017, 30(2): 194-199.]
- [14] Marsetic A, Ostir K, Fras M K. Automatic orthorectification of high-resolution optical satellite images using vector roads. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2015, 53(11): 6035-6047.
- [15] Luo Jiancheng, Wu Guojun, Li Junli, et al. *Spatial-spectral Recognition of Remote Sensing*. Beijing: Science Press, 2017. [骆剑承, 吴国军, 李均力, 等. 遥感图谱认知. 北京: 科学出版社, 2017.]
- [16] Demir B, Bovolo F, Bruzzone L, et al. Updating land-cover maps by classification of image time series: A novel change-detection-driven transfer learning approach. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2013, 51(1): 300-312.
- [17] Wu Tianjun, Luo Jiancheng, Xia Liegang, et al. An Automatic sample collection method for object-oriented classification of remotely sensed imageries based on transfer learning. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2014, 43(9): 908-916. [吴田军, 骆剑承, 夏列钢, 等. 迁移学习支持下的遥感影像对象级分类样本自动选择方法. *测绘学报*, 2014, 43(9): 908-916.]
- [18] Zhang Jingjing, Zhu Wenbo, Zhao Fang, et al. Spatial variations of terrain and their impacts on landscape patterns in the transition zone from mountains to plains: A case study of Qihe River Basin in the Taihang Mountains. *Science China Earth Sciences*, 2018, 48(4): 476-486. [张静静, 朱文博, 赵芳, 等. 山地平原过渡带地形特征及其对景观格局的影响: 以太行山淇河流域为例. *中国科学: 地球科学*, 2018, 48(4): 476-486.]
- [19] Liu Xianfeng, Pan Yaozhong, Zhu Xiufang, et al. Spatiotemporal variation of vegetation coverage in Qinling-Daba Mountains in relation to environmental factors. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(5): 705-716. [刘宪锋, 潘耀忠, 朱秀芳, 等. 2000—2014年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因. *地理学报*, 2015, 70(5): 705-716.]
- [20] Zhang Xiaodong, Zhu Wenbo, Zhang Jingjing, et al. Phenology of forest vegetation and its response to climate change in the Funiu Mountains. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(1): 41-53. [张晓东, 朱文博, 张静静, 等. 伏牛山地森林植被物候及其对气候变化的响应. *地理学报*, 2018, 73(1): 41-53.]
- [21] Xia Liegang. Research on automatic classification of remote sensing images coupled with "Graph-Spectrum" characteristics [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2011. [夏列钢. 耦合“图—谱”特征的遥感影像自动分类方法研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.]
- [22] Li Haining. Study on plant species diversity and vertical distribution patterns on the north slope of Taibai Mountain [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2007. [李海宁. 太白山北坡植物物种多样性及其垂直分布格局研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2007.]
- [23] Fang Zheng, Gao Shuzheng. Vegetation altitudinal belts on the north and south slopes of Taibai Mountain in Qinling Mountains. *Series of Plant Ecology and Geobotany*, 1963, 1: 162-163. [方正, 高淑贞. 秦岭太白山南北坡的植被垂直带谱. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1963, 1: 162-163.]
- [24] Yue Ming. Vegetation altitudinal belts of Qinling Mountains. *Forests and Human Beings*, 2015(2): 76-81. [岳明. 秦岭植物垂直带谱完整复杂. *森林与人类*, 2015(2): 76-81.]

- [25] Li Zhi, Yang Xiaomei, Meng Fan, et al. LULC classification based on random forest with the aid of phonological feature. *Remote Sensing Information*, 2013, 28(6): 48-55. [李治, 杨晓梅, 孟樊, 等. 物候特征辅助下的随机森林宏观尺度土地覆盖分类方法研究. *遥感信息*, 2013, 28(6): 48-55.]
- [26] Nielsen A A. The regularized iteratively reweighted MAD method for change detection in multi-and hyperspectral data. *IEEE Transaction on Image Processing*, 2007, 16(2): 463-478.

Compilation of 1:50000 vegetation type map with remote sensing images based on mountain altitudinal belts of Taibai Mountain in the north-south transitional zone of China

YAO Yonghui¹, ZHANG Junyao^{1,2}, SUONAN Dongzhu^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Resources and Environment Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The compilation of 1:250000 vegetation type map in the north-south transitional zone and 1:50000 vegetation type maps in typical mountainous areas is one of the main tasks of integrated scientific investigation of the north-south transitional zone of China. In the past, vegetation type maps were compiled by a large number of ground field surveys. Although the field survey method is accurate, it is not only time-consuming, but also only covers a small area due to the limitations of physical environment conditions. Remote sensing data can make up for the limitation of field survey because of its full coverage. However, there are still some difficulties and bottlenecks in the extraction of remote sensing information of vegetation types, especially in the automatic extraction. As an example of the compilation of 1:50000 vegetation type map, this paper explores and studies the remote sensing extraction and mapping methods of vegetation type with medium and large scales based on mountain altitudinal belts of Taibai Mountain, using multi-temporal high resolution remote sensing data, ground survey data, previous vegetation type map and forest survey data. The results show that: (1) mountain altitudinal belts can effectively support remote sensing classification and mapping of 1:50000 vegetation type map in mountain areas. Terrain constraint factors with mountain altitudinal belt information can be generated by mountain altitudinal belts, 1:10000 Digital Surface Model (DSM) data of Taibai Mountain. In combination of the terrain constraint factors with multi-temporal and high-resolution remote sensing data, ground survey data and previous small-scale vegetation type map data, the vegetation types at all levels can be extracted effectively. (2) The basic remote sensing interpretation and mapping process for typical mountains is interpretation of vegetation type-group→interpretation of vegetation group & subgroup→interpretation and classification of vegetation type & subtype, which is a combination method of top-down method and bottom-up method, not the top-down or the bottom-up classification according to the level of mapping units. The results of this study provide a demonstration and scientific basis for the compilation of large and medium scale vegetation type maps.

Keywords: vegetation type map; high resolution remote sensing data; mountain altitudinal belts; remote sensing interpretation; Taibai Mountain