

## 大理苍山东西坡植被的垂直分布格局

张 萍, 张 军, 李佳玉, 薛宇飞, 李宇宸

(云南大学 地球科学学院, 云南昆明 650500)

**摘要:** 【目的】分析云南省大理苍山东西坡植被的垂直分布格局变化特征, 为有效保护苍山生态环境和物种多样性提供参考依据。【方法】以大理苍山为研究区域, 基于高分二号 (GF-2) 高分辨率遥感影像, 结合大理苍山完整的山地植被垂直地带性分布规律, 辅以纹理特征和数字高程模型 (DEM) 数据, 采用面向对象的多层次图像分割法, 通过构建地形约束因子参与分类过程, 准确选择样本, 高精度提取研究区域的植被信息, 并分析苍山东西坡植被的垂直分布格局。【结果】①引入辅助信息的面向对象分类法提取的苍山各植被类型连续且效果好, 分类总体精度为 95.3%, Kappa 系数为 0.946 6。②苍山东西坡现状植被垂直分布格局明显, 各自具有 6 个垂直分布带, 并随着海拔高程的增大, 植被分布类型趋同性增大, 但东西坡垂直带谱内的优势植被类型相比也存在部分差异。【结论】相较于传统主观性强的分类方法, 引入垂直带谱信息的地形约束因子进行分类, 可以有效地提高山地植被分类的精度。基于面向对象的多层次分割法适用于苍山植被信息的精确提取。图 5 表 3 参 20

**关键词:** 苍山; 垂直带谱; 面向对象; 多层次分割; 山地植被; 信息提取

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2022)01-0068-08

## Vertical distribution pattern of vegetation on the east and west slopes of Cangshan Mountain in Dali

ZHANG Ping, ZHANG Jun, LI Jiayu, XUE Yufei, LI Yuchen

(School of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650500, Yunnan, China)

**Abstract:** [Objective] The purpose is to analyze the change characteristics of vertical distribution pattern of vegetation on the east and west slopes of Cangshan Mountain in Dali, Yunnan Province, so as to provide reference for effective protection of ecological environment and species diversity of Cangshan Mountain. [Method] Taking Cangshan Mountain in Dali as the study area, based on GF-2 high-resolution remote sensing images, combined with the complete vertical zonal distribution law of mountain vegetation in Cangshan Mountain, and supplemented by texture features and digital elevation model (DEM) data, the object-oriented multi-level image segmentation method was adopted by constructing terrain constraint factors to participate in the classification process, accurately select samples, and extract vegetation information in the study area with high precision, and analyze the vertical distribution pattern of vegetation on the east and west slopes of Cangshan Mountain. [Result] (1) The vegetation types extracted by the object-oriented classification method with auxiliary information were continuous and effective, and the overall classification accuracy was 95.3%, and Kappa coefficient was 0.946 6. (2) The current vegetation vertical distribution pattern on the east and west slopes of Cangshan Mountain is obvious, each of which has six vertical distribution zones. With the increase of altitude, the convergence of vegetation distribution types increases, but there are some differences between the

收稿日期: 2021-01-25; 修回日期: 2021-09-27

基金项目: 高分辨率对地观测系统重大专项省域产业化应用项目 (89-Y40G19-9001-18/20)

作者简介: 张萍 (ORCID: 0000-0002-1576-1000), 从事 GIS 应用与遥感信息提取研究。E-mail: 2437174233@qq.com。

通信作者: 张军 (ORCID: 0000-0002-1278-6077), 副研究员, 博士, 从事遥感信息提取、GIS 应用研究。E-mail: zhjun@ynu.edu.cn

dominant vegetation types in the spectrum of the vertical bands on the east and west slopes. [**Conclusion**] Compared with the traditional subjective classification method, the terrain constraint factor with vertical band spectrum information can effectively improve the accuracy of mountain vegetation classification, which fully shows that the object-oriented multi-level segmentation method is suitable for the accurate extraction of vegetation information in Cangshan Mountain. [Ch, 5 fig. 3 tab. 20 ref.]

**Key words:** Cangshan Mountain; vertical band spectrum; object-oriented; multi-level segmentation; mountain vegetation; information extraction

植被是山地生态系统不可或缺的一部分,是环境的重要因素,也是反映区域生态环境质量的最好标志<sup>[1]</sup>。客观掌握山地植被类型及其分布特征,对了解山区生态环境和气候空间变化具有重要意义<sup>[2]</sup>。遥感技术的飞速发展为实现山地植被的高精度提取提供了途径,但由于山区地形地貌复杂,遥感数据对植被的精细提取仍存在较多问题。植物群落间差异小,边界不明显,偶有采伐或原生山地植被发生新的变化,以及由于测量技术和缺乏对比数据而限制了植被覆盖度的监测,都对植被分类提出了巨大挑战。因此,采用人机交互的方式,将先验知识与经验参数充分运用到分类模型中,同时辅以纹理<sup>[3-4]</sup>、海拔<sup>[5-6]</sup>、地形地势<sup>[7-8]</sup>等信息进行分类来获得更准确的遥感解译成果<sup>[9-10]</sup>,已成为当前的研究热点。

何鸿杰等<sup>[11]</sup>利用光谱、纹理和地形信息构建了分类与回归决策树(CART),实现了对西北农牧交错带植被信息的提取。陈波等<sup>[12]</sup>辅以纹理、地形因子等进行面向对象分类,提取了川西南攀枝花市部分山区土地利用信息,分类总体精度达 90.57%, Kappa 系数达 0.889 2。张友静等<sup>[13]</sup>采用面向对象分类法,利用分割对象的空间和光谱信息对城市植被进行分类,提取的 6 种城市植被类型的分类总精度达 85.50%。上述研究大多是基于地形、光谱或纹理等辅助信息进行分类的,也有针对山区地形进行研究的,但并没有明显地获得植被的垂直地带性分布规律。且国内外对于更精细的植被类别划分较少,这除了要借助高分辨率影像外,对参与分类的植被特征和分类方法也提出了更高的要求。

大理苍山位于低纬度亚热带地区,海拔梯度大,是研究山地植被垂直地带性的典型山体。前人已对苍山植被的垂直分布格局做过定性和半定量研究,如袁睿佳等<sup>[14]</sup>利用 ETM+遥感影像和地形图对苍山东坡植被进行分类,并叠加数字高程模型(DEM)数据分析了苍山东坡植被景观的垂直分布格局,但该研究距今时间跨度长,时效性差。受遥感数据空间分辨率的影响,影像存在较多混合像元,使得信息含量低,精细提取困难。而高分二号(GF-2)高分辨率遥感影像,能够在时空分辨率上为获取当年最新森林植被信息提供便利,是林业遥感监测中较好的低成本数据源。鉴于此,本研究基于大理苍山植被垂直带谱,以纹理特征和地形因子作为分类的辅助信息,采用面向对象法提取苍山植被信息,以期为保护和建设苍山森林资源提供科学依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

大理苍山(图 1)位于云南西部大理白族自治州境内(25°34'~26°00'N, 99°55'~100°12'E),横跨大理市、漾濞彝族自治县、洱源县 3 市(县)。属亚热带西南季风气候,全年干湿季分明。年均气温为 15.5℃,年降水量大于 1 000 mm。苍山地势陡峭,南高北低,由 19 座山峰组成,最高点马龙峰海拔为 4 122 m。由于苍山垂直高差显著,山地立体气候十分明显,从山麓到山顶有 3 个垂直气候带,分别为亚热带、暖温带和高山寒漠带。植被的垂直带谱明显,植被种类多,层次清晰,分布复杂,保存了许多从南亚热带向高山冰漠带过渡的植被类型,也是目前世界上保存较完整的一组植物垂直分布带谱。

### 1.2 数据获取及预处理

1.2.1 高分二号(GF-2)遥感影像 采用 GF-2 PMS 影像(<http://www.cresda.com/>)作为基础遥感数据源,该影像包含全色、蓝、绿、红和近红外 5 个波段,除全色波段为 1 m 分辨率外,其余波段空间分辨率为 4 m。大理苍山属典型的季风气候,雨季旱季分明。5—10 月为雨季,由于云量较大,影像基本采集不到数据。为覆盖整个研究区,选择 2017 年 11 月 11 日的 3 景和 2018 年 1 月 24 日的 2 景共 5 景影像,这个

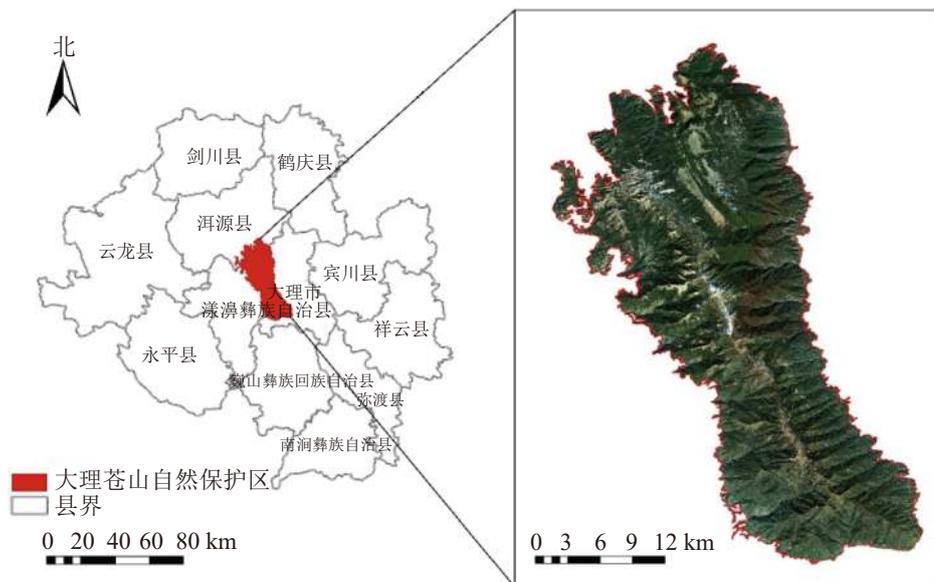


图1 研究区位置示意图

Figure 1 Location of the study area

时段研究区内云量少, 图像质量好, 满足应用的需要。在遥感分类之前, 应用 ENVI 5.3 软件对影像进行辐射定标、大气校正、正射校正、融合、镶嵌和裁剪等预处理, 得到研究区影像。

1.2.2 数字高程模型数据 为了保证精细植被识别的准确性, 在植被分类中利用空间分辨率为 30 m 的 DEM 作为辅助数据。30 m 的 DEM 数据下载于地理空间数据云平台 (<http://www.gscloud.cn/>)。对该数据进行裁剪后获得研究区的 DEM 数据, 主要用来提取地形约束因子和海拔。

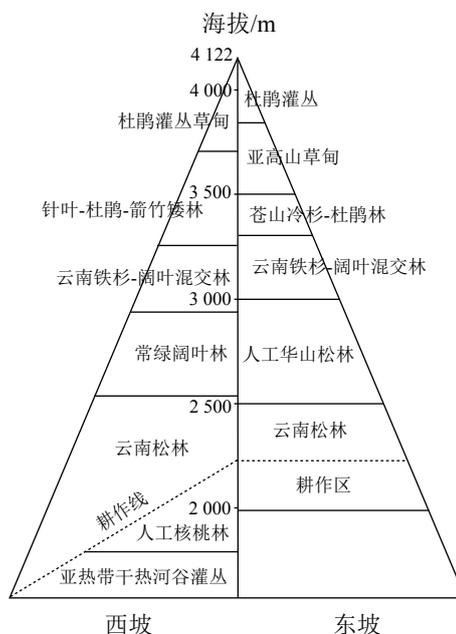
1.2.3 植被分布数据 参考文献 [15], 将苍山 7 种植被型组作为分类系统中的主要级别, 用于划分植被类型和确定分类体系。并根据袁睿佳等<sup>[14]</sup> 和闵天禄等<sup>[16]</sup> 整理得到苍山植被垂直带谱 (图 2), 构建地形约束因子, 在分类中辅助选择样本。

### 1.3 研究方法

1.3.1 提取地形因子 为了充分利用苍山山区植被分布的垂直地带性规律, 在构建地形约束因子时, 融入垂直带谱信息, 作为辅助要素进行植被分类。先利用 DEM 数据提取主山脊线, 大致确定东、西坡向; 再基于苍山东西坡的植被垂直分布带谱, 提取优势植被群系分布的海拔范围; 最后, 将东西坡的海拔范围叠加生成具有植被垂直分布规律的地形因子 (图 3)。

1.3.2 植被分类体系确定 参考中国科学院土地利用遥感监测分类系统, 结合苍山植被分布数据、遥感影像和研究区实际土地覆被情况, 将苍山植被划分为 12 种类型, 包括云南松 *Pinus yunnanensis* 林、华山松 *Pinus armandii* 林、云南铁杉 *Tsuga dumosa*-阔叶混交林、苍山冷杉 *Abies delavayi*-杜鹃 *Rhododendron simsii* 林、亚高山草甸、杜鹃灌丛、亚热带干热河谷次生灌丛、常绿阔叶林、杜鹃灌丛草甸、针叶-杜鹃-箭竹 *Fargesia spp.* 矮林、旱地、裸地。并基于高分辨率谷歌地球 (Google Earth) 影像和目视解译, 得出相应植被类型的影像特征。

1.3.3 面向对象分类法 面向对象分类法是以图像



杜鹃 *Rhododendron simsii*, 箭竹 *Fargesia spp.*, 苍山冷杉 *Abies delavayi*, 云南铁杉 *Tsuga dumosa*, 华山松 *Pinus armandii*, 云南松 *Pinus yunnanensis*, 核桃 *Juglans regia*

图2 大理苍山植被垂直带谱

Figure 2 Vertical band spectrum of vegetation in Cangshan Mountain, Dali

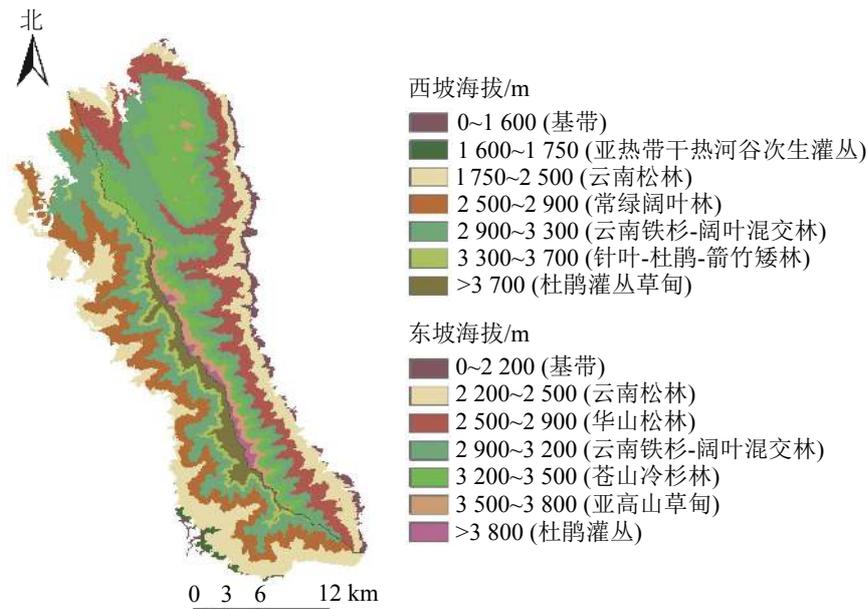


图 3 大理苍山地形约束因子分布

Figure 3 Distribution of topographic constraint factors in Cangshan Mountain, Dali

分割的对象为基本单位进行的<sup>[17]</sup>, 分割对象与地物边界一致性越高, 越有利于得到好的信息提取结果<sup>[18]</sup>, 并且该方法可以有效集成专家知识和各种辅助数据, 充分利用影像的光谱特征、纹理特征、形状特征等。面向对象分类过程可以分为 3 个步骤: 图像分割、特征选择与分析、影像分类<sup>[19]</sup>。

由于山区地形复杂, 地势起伏大, 影像在不同时相存在“同物异谱”现象。为了提高植被信息提取的准确性, 在图像分割中引入 DEM 和纹理特征。不同植被类型具有不同的纹理特征, 因此基于灰度共生矩阵 (GLCM)<sup>[20]</sup> 提取了常用的 8 个纹理特征。经比较后, 在图像分割中选取近红外波段的熵。由于植被在近红外波段的反射率较高, 其波段权重设为 2, 其余图层波段权重均设为 1; 并定义形状因子为 0.1, 紧致度因子为 0.5。图 4A 与图 4B 显示: DEM 和纹理特征参与分割后, 山体阴影更清晰, 且多边形对象数目大量减少, 对象数从 916 020 个减少到了 693 239 个。可见, 有辅助信息参与分割的效果明显优于仅基于光谱信息的分割效果。

由于研究区内不仅有大片分布的林地, 还有小面积分布的其他地类, 而本研究的重点是提取有林地类内更精细的植被类型。因此, 本研究采用多层次分割法对图像进行分割, 以满足不同层次

不同地物的良好分割效果。在以上参数都相同的情况下, 分割尺度参数为 70、90、120 时, 研究区影像中不同地物类型的分类效果最好。即这 3 个尺度为不同层次下地物的最优分割尺度, 具体如表 1 所示。

分割完成后, 结合地形约束因子对不同植被类型进行样本选择, 并使用 eCognition 软件中的 Feature Space Optimization 工具对各地物初始分类特征进行空间优化后, 筛选出相应的特征参数, 主要包括光谱、形状、纹理、拓扑关系、上下关系等。最后采用模糊分类和最邻近分类对植被信息进行分层次提取。各层次的地物分类规则见表 2。

**1.3.4 分类精度验证** 在研究区随机生成 600 个样本点, 基于 Google Earth 高分辨率影像, 通过目视解译获取对应点地类, 其中裸地 18 个、旱地 19 个、云南松林 81 个、华山松林 36 个、云南铁杉-阔叶混交林 126 个、苍山冷杉-杜鹃林 55 个、亚高山草甸 28 个、杜鹃灌丛 79 个、亚热带干热河谷次生灌丛 16 个、常绿阔叶林 42 个、杜鹃灌丛草甸 8 个、针叶-杜鹃-箭竹矮林 92 个。以此来进行植被信息提取结果的精度验证, 并计算生产者精度、用户精度、总体精度和 Kappa 系数。



A. 未参与分割的结果 B. 参与分割的结果

图 4 DEM 纹理参与和未参与图像分割的结果对比

Figure 4 Comparison of the results of DEM texture participation and non-participation in image segmentation

表1 多尺度分割的参数设置

Table 1 Multi-scale segmentation parameter settings

分割层次	尺度	形状因子	紧致度因子	对象类别
1	120	0.1	0.5	植被、非植被
2	90	0.1	0.5	耕地、林地
3	70	0.1	0.5	云南松林、华山松林、云南铁杉-阔叶混交林、苍山冷杉-杜鹃林、亚高山草甸、杜鹃灌丛、亚热带干热河谷次生灌丛、常绿阔叶林、针叶-杜鹃-箭竹矮林、杜鹃灌丛草甸

表2 不同层次的地物分类规则

Table 2 Classification rules of different levels of ground objects

层次	类别	分类方法	特征	隶属度函数	特征值范围
1	非植被	模糊分类	最大化差异度量	小于	[0.1, 0.6]
			归一化植被指数	小于	[-0.2, 0.6]
			高程	小于	[1 900, 2 100]
			高程	大于	[3 400, 4 200]
	植被		不是非植被		
2	耕地、林地	最邻近分类	近红外波段均值、波段亮度值、长宽比、同质性、面积、归一化植被指数		
3	云南松林、华山松林、云南铁杉-阔叶混交林、苍山冷杉-杜鹃林、亚高山草甸、杜鹃灌丛、亚热带干热河谷次生灌丛、常绿阔叶林、针叶-杜鹃-箭竹矮林、杜鹃灌丛草甸	最邻近分类	近红外波段均值、高程均值、亮度值、最大化差异度量、同质性、对比度、归一化植被指数		

## 2 结果与分析

### 2.1 分类结果

图5所示：在苍山植被类型的高精度分类结果中，地物边界相对清晰，完整性保持良好，与实际情况吻合度高。其中，研究区域内优势土地覆盖类型是云南铁杉-阔叶混交林，面积所占比例最大，为24.23%；其次为云南松林(18.67%)、常绿阔叶林(18.71%)、苍山冷杉-杜鹃林(13.09%)，以上这4种植被类型占全区总面积的74.71%，主要分布在中海拔的山坡。但在植被类型中，杜鹃灌丛草甸和亚热带干热河谷次生灌丛所占比例最小。而裸地主要是高山上裸露的基岩，旱地分布在较低海拔，面积都较小。

2.1.1 大理苍山东坡植被垂直分布特征 大理苍山东坡海拔低于2 200 m时，旱地、裸地、杜鹃灌丛只有零星分布，分布面积较小，但也有少量云南松林；海拔为2 200~2 500 m时，旱地、杜鹃灌丛明显减少，且分布的主要植被类型为云南松林；海拔为2 500~2 900 m时，主要集中在分布华山松林，局部地段因山势陡峭，还能发现少量常绿阔叶林；海拔为2 900~3 200 m，高山裸露的基岩零星出现少量裸地，而云南铁杉-阔叶混交林大面积出现；海拔为3 200~3 500 m时，云南铁杉-阔叶混交林面积极少，苍山冷杉-杜鹃林成为主要森林类型，云南松林消失殆尽；海拔为3 500~3 800 m时，亚高山草甸以显著的面积优势成为垂直地带性植被类型；海拔大于3 800 m时，杜鹃灌丛及草甸占主导。但也有部分植被因光谱特征极为相似而导致两两混淆。

2.1.2 大理苍山西坡植被垂直分布特征 大理苍山西坡海拔低于1 750 m的低山丘陵区域，土地多半已被开垦，旱地和次生灌丛分布比例大，而且有少面积的云南松林；海拔为1 750~2 500 m时，云南松林的分布范围最广，零星出现少量旱地和裸地；海拔为2 500~2 900 m时，主要分布大面积的常绿阔叶林，裸地分布不明显；海拔为2 500~3 300 m时，常绿阔叶林已很难看到，云南铁杉-阔叶混交林以显著面积优势成为垂直地带性植被类型，但裸地面积有明显增多；海拔为3 300~3 700 m时，主要植被类型为针叶-杜鹃-箭竹矮林，散生少数苍山冷杉-杜鹃林；海拔大于3 700 m的地区，杜鹃灌丛及草甸呈大面积成片分布。

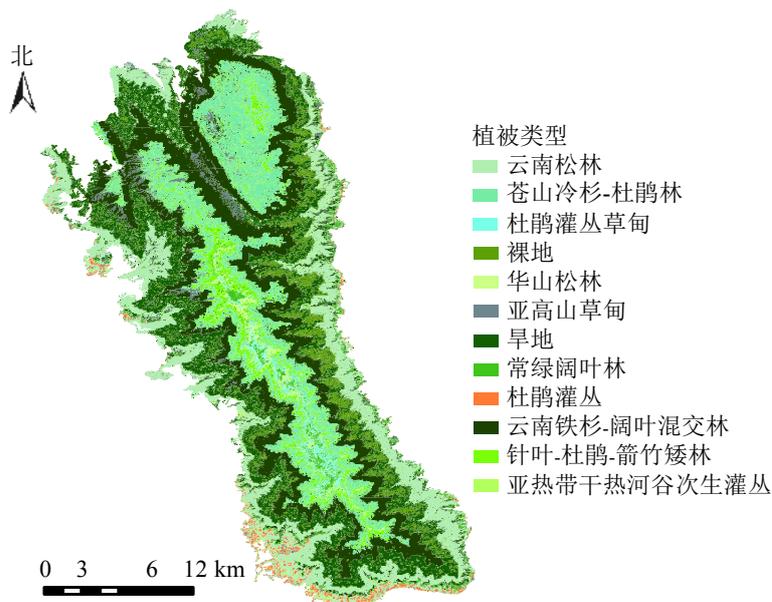


图 5 大理苍山植被分类结果示意图

Figure 5 Results of vegetation classification in Cangshan Mountain, Dali

## 2.2 精度评价

为了确定分类的精度和可靠性，通常采用混淆矩阵来评估分类的精度。本研究根据获取的 600 个验证样本点，采用 eCognition 软件中基于分割对象选择的样本 (error matrix based on sample) 工具计算面向对象分类法的分类结果验证的混淆矩阵 (表 3)。由表 3 可知：与植被真实分布情况进行对比验证，600 个点中有 28 个点不匹配，引入辅助信息参与分类的总体精度为 95.3%，Kappa 系数为 0.946 6。对于单一地类的精度，面向对象分类法提取的裸地、云南铁杉-阔叶混交林、亚高山草甸和杜鹃灌丛草甸的生产者精度非常高，均为 100.0%；杜鹃灌丛、苍山冷杉-杜鹃林、针叶-杜鹃-箭竹矮林和常绿阔叶林次之，分别为 98.7%、98.2%、97.8% 和 97.6%。除杜鹃灌丛草甸和亚热带干热河谷次生灌丛外，各地类的用户精度均超过 90.0%，说明错分的现象较少。但也存在部分地物分类的误差，主要原因有：①根据影像时相的不同，在进行拼接时仍无法避免影像存在一定的色差。这也增加了不同植被类型边界出现“同物异谱，异物同谱”现象的概率；②云南松林、常绿阔叶林、云南铁杉-阔叶混交林等部分植被影像特征十分相似，造成人工选择样本时，界定目标地物存在困难；③由于苍山东西坡的垂直带谱信息存在一定差异，不同海拔范围内优势物种的描述也有所不同，就使得一些面积较小的植被类型很少描述，由此导致分类不细致。

## 3 结论与讨论

本研究结果表明：①研究中引入 DEM 地形数据、纹理特征来辅助多尺度、多层次的影像分割，能让分割结果更细致，且使影像分割中过于细碎的图像得以合并，能更高效、准确地表达地物，从而避免影像上大量山体阴影、积雪等的影响。②结合层次分类的思想，采用面向对象的分类法分层提取植被信息，并在此基础上叠加地形约束因子，可以有效改善研究区林地面积较大，植被边界定义模糊，在特征相似或植被分布密集区域造成误选样本等问题。③通过构建具有垂直带谱信息的地形约束因子，利用人机交互的方式能够更高效、准确地选择样本，有效减少错分，最终实现苍山植被信息的高精度提取，其总体精度为 95.3%，Kappa 系数为 0.946 6。

本研究提高了地物分类精度，与张俊瑶等<sup>[1]</sup>、陈波等<sup>[12]</sup>的研究结论一致。但因本研究中部分数据整理时间相对较早，缺乏野外实地考察，使苍山的植被垂直带谱分布范围可能存在差异。在分类过程中，部分植被光谱特性相似度高、主观性强等，势必造成少部分植被被错分的情况。此外，部分植被如华山松林、云南松林、常绿阔叶林、云南铁杉-阔叶混交林、针叶-杜鹃-箭竹矮林等影像特征相似，边界界定模糊，如不引入地形约束因子，就无法识别区分植被。本研究对分类结果的准确度的分析较单一，存在

表3 分类结果的混淆矩阵

Table 3 Confusion matrix of classification results

类别	裸地	旱地	云南松林	华山松林	云南铁杉-阔叶混交林	苍山冷杉-杜鹃林	亚高山草甸	杜鹃灌丛	亚热带干热河谷次生灌丛	常绿阔叶林	杜鹃灌丛草甸	针叶-杜鹃-箭竹矮林	总和
裸地	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
旱地	0	13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	14
云南松林	0	1	73	1	0	0	0	0	2	0	0	0	77
华山松林	0	0	1	33	0	0	0	0	0	0	0	0	34
云南铁杉-阔叶混交林	0	1	2	1	126	0	0	0	0	1	0	0	131
苍山冷杉-杜鹃林	0	0	0	0	0	54	0	0	0	0	0	0	54
亚高山草甸	0	2	0	0	0	0	28	1	0	0	0	0	31
杜鹃灌丛	0	0	1	1	0	1	0	78	0	0	0	1	82
亚热带干热河谷次生灌丛	0	0	3	0	0	0	0	0	10	0	0	1	14
常绿阔叶林	0	1	1	0	0	0	0	0	1	41	0	0	44
杜鹃灌丛草甸	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	8	0	10
针叶-杜鹃-箭竹矮林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	90
总和	18	19	81	36	126	55	28	79	16	42	8	92	
生产者精度/%	100.0	68.4	90.1	91.7	100.0	98.2	100.0	98.7	62.5	97.6	100.0	97.8	
用户精度/%	94.7	92.9	94.8	97.1	96.2	100.0	90.3	95.1	71.4	93.2	80.0	100.0	

说明：总体分类精度95.3%，Kappa系数0.946 6。混淆矩阵中的行表示实际地物与分类结果的样本对应情况，列表示遥感影像的分类结果在实际中被分为各个类别的相应数量，矩阵中主对角线表示正确的分类数，非对角线表示相应的误分数目，从而算得分类精度

分割结果的边界过于依赖地形约束因子图层的边界，破坏了对象的完整性。因此，今后研究中还将进一步探索地形约束因子能否参与分割和如何参与分割的问题，或是否还能引入更多的因素辅助分类。

## 4 参考文献

- [1] 张俊瑶, 姚永慧, 索南东主, 等. 基于垂直带谱的太白山区山地植被遥感信息提取[J]. *地球信息科学学报*, 2019, **21**(8): 1284 – 1294.  
ZHANG Junyao, YAO Yonghui, SUONAN Dongzhu, *et al.* Mapping of mountain vegetation in Taibai Mountain based on mountain altitudinal belts with remote sensing [J]. *J Geo-Inf Sci*, 2019, **21**(8): 1284 – 1294.
- [2] 于法展. 庐山不同森林植被类型土壤特性与健康评价研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2018.  
YU Fazhan. *Research on Soil Characteristics and Health Evaluation of Different Forest Vegetation Types in Lushan*[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2018.
- [3] SALAS E A L, BOYKIN K G, VALDEZ R. Multispectral and texture feature application in image-object analysis of summer vegetation in Eastern Tajikistan Pamirs[J/OL]. *Remote Sensing*, 2016, **8**(1): 78[2020-10-20]. doi: [10.3390/rs8010078](https://doi.org/10.3390/rs8010078).
- [4] 张嵩, 马保东, 陈玉腾, 等. 融合遥感影像光谱和纹理特征的矿区林地信息变化监测[J]. *地理与地理信息科学*, 2017, **33**(6): 44 – 49.  
ZHANG Song, MA Baodong, CHEN Yuteng, *et al.* Monitoring on the changes of forestry in mining area based on remote sensing images combing with the spectral and texture features [J]. *Geogr Geo-Inf Sci*, 2017, **33**(6): 44 – 49.
- [5] 张春华, 李修楠, 吴孟泉, 等. 基于 Landsat 8 OLI 数据与面向对象分类的昆崙山地区土地覆盖信息提取[J]. *地理科学*, 2018, **38**(11): 1904 – 1913.  
ZHANG Chunhua, LI Xiunan, WU Mengquan, *et al.* Object-oriented classification of land cover based on Landsat 8 OLI image data in the Kunyu Mountain [J]. *Sci Geogr Sin*, 2018, **38**(11): 1904 – 1913.
- [6] LIU Yanan, GONG Weishu, HU Xiangyun, *et al.* Forest type identification with random forest using Sentinel-1A, Sentinel-2A, multi-temporal Landsat-8 and DEM data[J/OL]. *Remote Sensing*, 2018, **10**(6): 946[2020-11-12]. doi: [10.3390/rs10060946](https://doi.org/10.3390/rs10060946).

10060946.

- [7] FU Yuanyuan, ZHAO Chunjiang, WANG Jihua, *et al.* An improved combination of spectral and spatial features for vegetation classification in hyperspectral images[J/OL]. *Remote Sensing*, 2017, **9**(3): 261 [2020-11-12]. doi: 10.3390/rs9030261.
- [8] SUCHENWIRTH L, FORSTER M, CIERJACKS A, *et al.* Knowledge-based classification of remote sensing data for the estimation of below- and above-ground organic carbon stocks in riparian forests [J]. *Wetlands Ecol Manage*, 2012, **20**(2): 151 – 163.
- [9] PEÑA M A, LIAO R, BRENNING A. Using spectrottemporal indices to improve the fruit-tree crop classification accuracy [J]. *ISPRS J Photogramm Remote Sensing*, 2017, **128**: 158 – 169.
- [10] JOHANSEN K, COOPS N C, GERGEL S E, *et al.* Application of high spatial resolution satellite imagery for riparian and forest ecosystem classification [J]. *Remote Sensing Environ*, 2007, **110**(1): 29 – 44.
- [11] 何鸿杰, 穆亚超, 魏宝成, 等. 分层分类和多指标结合的西北农牧交错带植被信息提取[J]. 干旱区地理, 2019, **42**(2): 332 – 340.
- HE Hongjie, MU Yachao, WEI Baocheng, *et al.* Vegetation information extraction in farming-pastoral ecotones in northwest China using hierarchical classification and multiple indices [J]. *Arid Land Geogr*, 2019, **42**(2): 332 – 340.
- [12] 陈波, 胡玉福, 喻攀, 等. 基于纹理和地形辅助的山区土地利用信息提取研究[J]. 地理与地理信息科学, 2017, **33**(1): 1 – 8.
- CHEN Bo, HU Yufu, YU Pan, *et al.* Research on information extraction of land use in mountainous area on texture and terrain [J]. *Geogr Geo-Inf Sci*, 2017, **33**(1): 1 – 8.
- [13] 张友静, 樊恒通. 城市植被尺度鉴别与分类研究[J]. 地理与地理信息科学, 2007, **23**(6): 54 – 57.
- ZHANG Youjing, FAN Hengtong. Scale identification for urban vegetation classification using high spatial resolution satellite data [J]. *Geogr Geo-Inf Sci*, 2007, **23**(6): 54 – 57.
- [14] 袁睿佳, 杨树华, 王宝荣. 苍山东坡植被垂直分布格局研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2008, **30**(3): 318 – 325.
- YUAN Ruijia, YANG Shuhua, WANG Baorong. Study on the altitudinal pattern of vegetation distribution along the eastern slope of Cangshan Mountain, Yunnan, China [J]. *J Yunnan Univ Nat Sci Ed*, 2008, **30**(3): 318 – 325.
- [15] 中国科学院中国植被编辑委员会. 中国植被图集(1:100 万) [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- Chinese Vegetation Editorial Committee, Chinese Academy of Sciences. *Vegetation Atlas of China (1:100 million)*[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [16] 闵天禄, 方瑞征. 点苍山的植被与杜鹃属植物的分布[J]. 云南植物研究, 1982, **4**(4): 383 – 391.
- MIN Tianlu, FANG Ruizheng. The vegetation on Cangshan Yunnan and the distribution of genus *Rhododendron* [J]. *Yunnan Bot Res*, 1982, **4**(4): 383 – 391.
- [17] 程璐, 宁黎平, 才永吉. 图像分割与 SVM 的城市森林植被分类技术研究[J]. 青海大学学报, 2017, **35**(3): 71 – 75, 87.
- CHENG Lu, NING Liping, CAI Yongji. Applying segmentation method and SVM technology on urban forest vegetation classification research [J]. *J Qinghai Univ*, 2017, **35**(3): 71 – 75, 87.
- [18] 马浩然, 赵天忠, 曾怡. 面向对象的最优分割尺度下多层次森林植被分类[J]. 东北林业大学学报, 2014, **42**(9): 52 – 57.
- MA Haoran, ZHAO Tianzhong, ZENG Yi. Object-based multi-level classification of forest vegetation on optimal segmentation scale [J]. *J Northeast For Univ*, 2014, **42**(9): 52 – 57.
- [19] 刘绍贵, 姬忠林, 张月平, 等. 基于 GF-1 影像面向对象分类方法的水稻种植信息提取研究[J]. 中国稻米, 2017, **23**(6): 43 – 46.
- LIU Shaogui, JI Zhonglin, ZHANG Yueping, *et al.* Planting information extraction of rice by object-oriented classification method based on GF-1 images [J]. *China Rice*, 2017, **23**(6): 43 – 46.
- [20] HARALICK R M, SHANMUGAN K, DINSREIN I. Textural features for image classification [J]. *IEEE Trans System Man Cybern*, 1973, **3**(6): 610 – 621.