

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.05.004

## 复杂地形约束下西昌市土地利用空间分布格局


魏颖,郑勇\*,张强,卿玉玲,刘宗学  
(成都理工大学旅游与城乡规划学院,四川成都 610059)

**摘要:**以西昌市为研究区,基于DEM及遥感解译获取的土地利用数据,在GIS软件的支持下采用空间技术对提取的地形因子(高程、坡度、坡向、地形位)与土地利用现状图进行叠加处理,得到了4种地形因子影响下不同土地利用的分布特征,进一步分析土地利用空间分布与地形因子的耦合关系。结果表明:(1)西昌市土地利用类型以林地为主,占总面积的50.51%,草地、耕地、水田、建设用地面积接近,水体和其他用地类型所占比例较小;(2)各土地利用类型在不同高程、坡度、地形位分级上呈现出阶梯变化规律;阳坡、半阳坡土地利用程度高于阴坡、半阴坡,水体不受坡向影响;(3)西昌市土地利用类型受地形因素较严格限制,当前没有出现因强烈的人为扰动及地质灾害等导致的极端大规模分布情况。

**关键词:**遥感解译;土地利用;地形因子;GIS

中图分类号:F301.24 文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2019)05-0017-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

## Spatial Distribution Patterns of Land Use in Xichang City under the Constraint of Complex Terrain

WEI Ying ZHENG Yong\* ZHANG Qiang QING Yu-ling LIU Zong-xue  
(College of Tourism and Urban and Rural Planning, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Xichang city was taken as the research area. Based on the land use data obtained by DEM and remote sensing interpretation, the distribution characteristics of land use under the influence of four terrain factors were obtained by superposition processing of extracted topographic factors (elevation, slope, aspect, topography) and land use status map with the support of GIS software and spatial technology. And the coupling relationship was further analyzed between land use spatial distribution and topographic factors. The results showed that (1) the land use type in Xichang City was mainly forest land, accounting for 50.51% of the total area. The area size of grassland was close to that of cultivated land, paddy field, or construction land, and the proportion of water body and other land types were small; (2) Each land use type showed a law of ladder change in different elevation, slope and topographic level; the land use degree of sunny slope and semi-sunny slope was higher than that of shady slope and semi-shady slope, and the water body was not affected by slope direction; (3) Land use types in Xichang City were relatively strictly limited by topographical factors, and currently, there was no extremely large-scale distribution caused by strong human disturbances and geological disasters.

**Key words:** Remote sensing interpretation, Land use, Terrain factor, GIS

收稿日期:2019-07-19

作者简介:魏颖(1994-)女,四川雅安人,硕士研究生,主要从事土地利用与国土整治研究。

\* 通讯作者:郑勇(1993-),男,硕士研究生, e-mail:414503514@qq.com。

## 0 前言

土地利用是土地质量特性和社会土地需求协调所决定的土地功能过程,是自然环境和社会经济等众多因素共同作用的复杂过程<sup>[1~4]</sup>。地形因子作为对土地利用变化影响程度最大的自然因素,直接影响着土地利用变化的方式和趋势<sup>[5]</sup>,是土地利用分布格局的重要影响因子<sup>[6]</sup>。目前,国内学者从定性角度探讨了海拔、坡度和坡向等地形因子对土地利用类型时空分布及其变化的影响,认为地形因子与其他自然、人文因素一起复杂影响土地利用变化<sup>[7~10]</sup>。但大多是针对地形结构简单的平原地区,对复杂地形区研究还有待深入。西昌市地貌复杂,平原和山地交错分布,运用遥感和GIS技术能够快速提取土地覆被信息,并与高程、坡度、坡向、地形位信息进行叠加处理,定量分析地形因子制约下西昌市区土地利用的空间分布规律,为该区土地利用及国土空间规划提供科学依据。

## 1 研究区概况

西昌市处于川西高原的安宁河平原腹地,是凉山彝族自治州的州府所在地,也是攀西地区的政治、经济文化及交通中心(见图1),东经 $101^{\circ}46'$ ~ $102^{\circ}25'$ 、北纬 $27^{\circ}32'$ ~ $28^{\circ}10'$ 。地形以中山为主,占全市总面积的78.9%,高山、低山分别占1.1%和3.4%;河谷平坦地区面积占16.4%,是四川省第二大河谷平原。山地分布在安宁河东西两侧,西部牦牛山,是市境内山地的主体,占全市总面积的一半,自北向南纵贯全境,构成安宁河与雅砻江的分水岭。其北段许多山峰海拔超过3500m,向南逐渐降低。整个山体,大部分界于2000m~3000m之间;安宁河东侧属螺髻山山脉,北段和南段主脊线分别在喜德县及西昌与普格的交界线上。

## 2 数据来源与方法

### 2.1 数据来源与处理

本文的DEM选取ASTER-GDEM,空间分辨率为30m,来自地理空间数据云(<http://www.gscicloud.cn/>)。待解译数据以USGS的Landsat8一景为数据源(<https://glovis.usgs.gov>),成像时间为2018年2月20日,云量0.1。运用ENVI5.3对影像

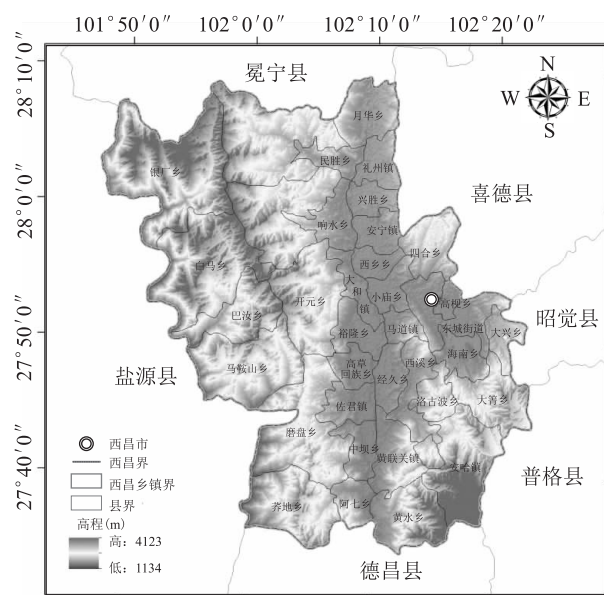


图1 西昌市地理位置与高程

Fig. 1 Location and elevation of Xichang City

进行辐射定标、大气校正、几何精校正、图像增强等预处理,并根据研究区行政边界裁剪。根据《全国遥感监测土地利用/覆盖分类体系表》,结合研究区实际土地利用现状和遥感解译能力,形成适合研究区的中等分辨率地类分类体系,共7个地类:林地、草地、耕地、水田、水体、建设用地、其他。

面向对象的图像分类技术能有效利用光谱、纹理、形状等多个特征,避免了基于像元的分类技术产生的“同物异谱”、“异物同谱”和明显的“椒盐”现象,其分类结果优于后者<sup>[11]</sup>。本文采用eCognition9.0软件的Cart决策树算法对预处理后的影像进行分类。采用多尺度分割,分割尺度40,形状权重0.1,紧致度权重0.5。将参照影像选取的矢量点训练为样本,使用Cart分类器训练和应用生成土地利用现状图(见图2),土地覆被总体精度达到0.88,Kappa系数超过0.84,满足研究需要。

遥感影像图像分类常采取分类结果与现场验证数据进行比较,将分类正确的验证样本百分比作为精度评价指标。本文采用现场采集样本的精度评价方法,191个样本混淆矩阵和Kappa系数精度评价结果见表1。

### 2.2 地形因子分级及面积

地形因子(坡度、坡向、地形位)通过DEM在Arcgis10.3空间分析模块中计算。为使高程分布梯度上具有明显差异体现,采取自然断点分级法将高程划分为5个等级。坡度总变幅为 $0^{\circ}$ ~ $75.33^{\circ}$ ,参考国际地理学联合会的6级坡度分类法,并依据中

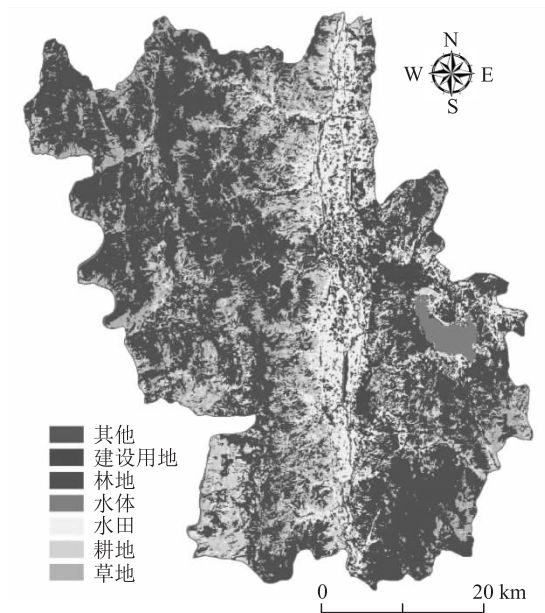


图2 西昌市土地利用现状图  
Fig.2 Status map of land use in Xichang City

国农业区划委员会发布的《土地利用现状调查技术规程》,将坡度分成6个等级(见表2)。坡向按照方

表2 地形因子分级及面积

Tab.2 Topographic factor classification and area

地形因子	类别	分级	草地 /km <sup>2</sup>	水田 /km <sup>2</sup>	耕地 /km <sup>2</sup>	林地 /km <sup>2</sup>	建设用地 /km <sup>2</sup>	水体 /km <sup>2</sup>	其他 /km <sup>2</sup>	
高程/m	/	1135 ~ 1770	35.09	286.64	156.43	143.9	234.99	48.07	4.6	
		1770 ~ 2181	80.67	17.52	143.32	334.46	28	0.32	0	
		2181 ~ 2611	102.54	3.58	55.1	375.05	6.26	0	0.7	
		2611 ~ 3117	49.99	0.58	12.15	345.64	1.6	0	0	
		3117 ~ 4106	50.12	0.38	2.43	149.84	0.58	0	0	
坡度/°	/	0 ~ 2	1.28	100.49	10.36	4.03	65.84	14.64	0.58	
		2 ~ 5	6.78	112.38	24.1	14.64	88.09	8.5	0.96	
		5 ~ 15	67.51	69.29	133.35	196.12	80.16	13.42	2.81	
		15 ~ 35	199.19	24.68	183.15	899.43	35.29	8.69	1.6	
		>35	43.66	1.85	18.47	234.67	2.05	3.13	0.13	
坡向/°	平坡	0	0	3.07	0.64	0.06	3.2	10.48	0	
	阴坡	0 ~ 45	315 ~ 360	38.74	56	60.67	371.41	62.52	7.22	1.74
	半阴坡	45 ~ 90	270 ~ 315	69.49	77.67	90.65	381.51	74.41	9.46	1.09
	半阳坡	90 ~ 135	225 ~ 270	100.62	96.08	111.61	347.5	73.96	11.19	1.34
	阳坡	135 ~ 225		109.57	75.88	105.86	248.41	57.34	10.04	2.11
地形位	/	0.44 ~ 0.86	4.79	243.24	47.3	14.06	179.31	29.47	2.62	
		0.86 ~ 1.21	43.72	42.51	120.56	133.8	59.64	9.84	1.73	
		1.21 ~ 1.49	98.51	15.79	129.96	359.13	24.55	5.24	1.21	
		1.49 ~ 1.75	108.86	6.65	60.03	500.34	6.97	3.2	0.32	
		1.75 ~ 2.47	62.52	0.51	11.57	341.55	0.96	0.64	0.19	

### 2.3 地形分布指数

不同土地利用类型在不同高程、坡度和坡向的分布情况,可以通过分布指数进行转化和描述<sup>[13-15]</sup>。利用地形梯度对地形差异进行新的描述后,地形条件对各土地利用类型分布特征的影响问题被简化为在地形梯度上不同土地利用类型出现的

表1 土地覆被混淆矩阵及分类精度

Tab.1 Land coverage confusion matrix and classification accuracy

地类样本 /个	混淆矩阵							合计
	草地	其他	建设用地	水田	水体	林地	耕地	
草地	33	0	0	0	0	2	5	40
其他	0	3	0	0	0	0	0	3
建设用地	0	1	19	0	0	0	4	24
水田	0	0	0	14	2	0	1	17
水体	0	0	0	0	6	0	0	6
林地	1	0	0	0	0	51	3	55
耕地	3	0	0	0	0	1	42	46
合计	37	4	19	14	8	54	55	191
总体精度								0.8796
Kappa 系数								0.8472

位角进行划分,将坡向划分为平坡、阴坡、半阴坡和半阳坡,阳坡(见表2)。

叠加分析是 ArcGIS 中重要的分析工具,是常用来提取地理事物空间隐含信息的方法之一<sup>[12]</sup>。分别将高程、坡度、坡向、地形位与土地利用图进行叠合,分析西昌市的地形梯度特征,建立研究区内地形因子与土地利用的对应面积关系(见表2)。

概率问题<sup>[16]</sup>。分布指数公式如下:

$$P = \frac{S_{ie}}{S_i} \times \frac{S}{S_e} \quad (1)$$

式中:P 表示分布指数;e 表示某一地形因子;S<sub>ie</sub> 表示 e 地形因子下 i 地类面积;S<sub>i</sub> 表示 i 地类面积;S 表示整个区域面积;S<sub>e</sub> 表示整个区域 e 地形因子的

总面积。P=1,表示第*i*种地类在第*e*级地形上的比重与研究区内该地类的比重相等;P>1,表示第*i*种地类在第*e*级地形上的分布属于优势分布,P值越大,优势度越高P<1,则说明第*i*种地类在第*e*级地形上的分布属于劣势分布,该地形级别不适宜该地类分布或者发育<sup>[17]</sup>。

### 2.4 地形位指数

地形条件对土地利用分布的约束往往是多个地形因子的综合作用,单一的高程或坡度因子无法反映这种综合影响结果。为综合反映地形因子的空间分异,引入地形位指数,以便对西昌地区的地形特征进行重新描述和梯度分类<sup>[18]</sup>。地形位公式如下:

$$T = \log[(E/\bar{E} + 1) \times (S/\bar{S} + 1)] \quad (2)$$

式中,*T*——第*i*个单元的地形位指数;

*E*、 $\bar{E}$ ——分别代表第*i*个单元的高程值和研究区的平均高程值;

*S*、 $\bar{S}$ ——分别代表第*i*个单元的坡度值和研究区的平均坡度值。

利用上式模拟后,重采样的栅格大小为 30 m × 30 m,原来的地形属性(包括高程与坡度)即可以由地形位指数来综合描述。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用总体空间特征

西昌市遥感解译结果显示(见表3),林地、耕地、草地主要分布于安宁河平原周边的大部分地区,所有土地利用结构中林地面积最大为 1 348.89 km<sup>2</sup>,占总面积的 50.51%;耕地面积为 369.43 km<sup>2</sup>,占总面积的 13.83%;草地面积为 318.41 km<sup>2</sup>,占总面积的 11.92%。西昌位于四川第二大平原安宁河平原腹地,这为灌溉农业提供了基础的自然地理条件,水田主要分布在安宁河畔,南北贯穿地带。面积为 308.7 km<sup>2</sup>,占总面积 11.56%。平原和

水源为城镇化的孕育提供了地貌和资源条件,建设用地大部分分布在安宁河平原及邛海边缘上。面积为 271.43 km<sup>2</sup>,面积占比 10.16%。西昌水资源丰富,区内主要河流有安宁河,雅砻江,邛海等,以及安宁河平原分布有农业用的坑塘,水体总面积为 48.39 km<sup>2</sup>,占总面积的 1.81%。经过现场勘查,发现其他用地主要为一些工矿用地,如采砂厂,以及少量的一些裸地,面积较小为 5.3 km<sup>2</sup>,占总面积不足 0.2%。

表3 西昌市土地利用类型及面积

Tab.3 Types and area of land use in Xichang City

土地类型	草地	水田	耕地	林地	建设用地	水体	其他
面积/km <sup>2</sup>	318.41	308.7	369.43	1348.89	271.43	48.39	5.3
比例/%	11.92	11.56	13.83	50.51	10.16	1.81	0.2

### 3.2 土地利用类型在高程梯度上的分布特征

土地利用分布在各高程梯度上分布较均衡,总体上,随着海拔高度增大土地利用分布有逐渐减小的趋势,分布面积最大的梯度范围为第一梯度(见图3)。林地是西昌市第一大土地利用类型,分布面积在第三梯度出现峰值,其他梯度随海拔升高和降低都呈减少趋势,分布指数大致呈现由低海拔至高海拔区依次递增趋势,表示海拔越高越有利于林地的分布,林地在高海拔区生长具有优势;耕地主要分布在一、二高程梯度范围内,占总耕地面积的 81.14%,且在此范围内分布指数均大于 1,呈优势分布,随着海拔升高,分布指数逐渐降低,表示耕地面积分布与高程关系密切,分布海拔到达一定高度后,海拔越高越不利于耕地分布;草地分布与海拔关系密切,分布指数在除了第一高程范围内均大于 1,表明在研究区较高海拔处利于草地分布;水田在第一高程梯度具有优势分布,占总面积的 92.85%,且仅在此处分布指数高于 1,表明海拔越低越有利于水田分布;建设用地主要分布于一、二高程范围,占

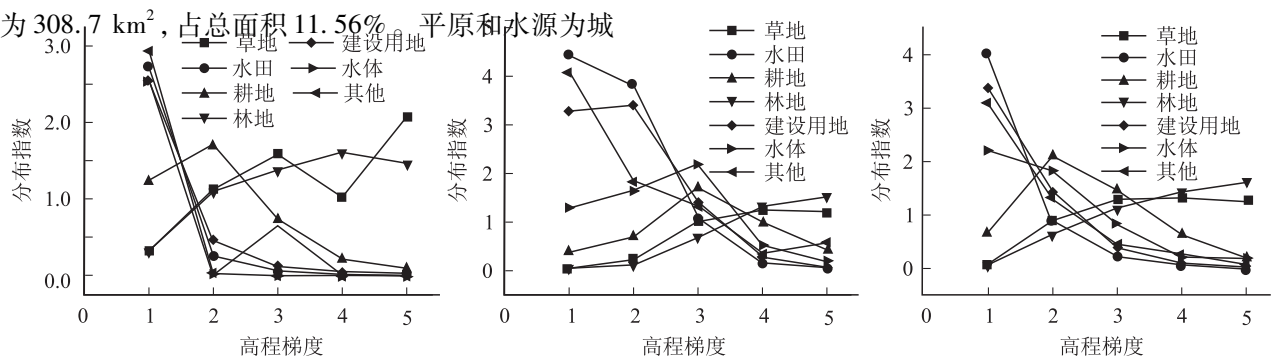


图3 高程、坡度、地形位分级的土地利用结构

Fig.3 Land use structure of elevation, slope and topographical classification

总面积的 96.89%,且随着海拔升高分布指数逐渐降低。说明西昌市的居民大都集中生活于较低海拔的区域,低海拔地区适宜开展生产和生活;水体仅在第一、二高程梯度范围内分布,且在第一海拔高程上分布指数大于 1,优势性十分显著;其他用地类型是指裸地和工矿用地,其他用地只分布于一、三海拔高程范围内。

### 3.3 基于坡度分级的土地利用结构分析

土地利用坡度分布主要集中于三、四坡度梯度范围内,分别占总面积的 21.06% 和 50.61%,分布面积最小的为第一坡度梯度,占比为 7.38%,随后由小至大依第二坡度梯度、第五坡度梯度(见图 3)。由此可见,研究区地形以山地地形为主,地形较为复杂,平坦地面面积相对较小。林地主要分布于三、四、五坡度梯度范围内,占林地总面积的 98.62%,但就分布指数而言,坡度越大分布指数数值越大,越具有分布优势,说明林地对坡度大的地区具有较强的适应性;西昌耕地主要分布于三、四坡度梯度范围内,占耕地总面积的 85.67%,但仅在在第三梯度范围内,分布指数均大于 1,主要原因是坡度影响土壤肥力,随着坡度增加,耕种困难,投入的成本也更大,同时坡度较小的土地被开垦成水田;水田主要分布于第一、二、三坡度梯度范围内,且在此范围分布指数大于 1 具有优势分布。建设用地在平缓坡分布面积较大,且分布指数在第一、二、三坡度梯度上大于 1,说明人类活动多分布于平坦的地区,建设用地分布于坡度较平缓的地区;水体在第一坡度梯度分布面积最大,达 30.26%,分布指数随着海拔升高有逐渐降低趋势,表示水域分布在坡度平缓地区更具有优势;草地面积较小,主要分布于第三坡度梯度范围,所占比例为 62.56%,分布指数随着坡度增大越具有明显的分布优势;其他用地在第三坡度梯度上面积最大,分布指数也最大。

### 3.4 基于地形位的土地利用结构分析

在整个地形位指数梯度上,水田、耕地、林地和水体这 4 种土地利用在高程和坡度梯度上的变化基本一致,草地地形位指数变化与坡度变化规律相同,建设用地地形位指数变化与高程变化规律相同,其他用地除第三梯度外变化规律与坡度梯度变化规律相同(见图 3)。在 1~5 级地形位梯度上,水田、建设用地、水体、其他用地分布指数呈逐渐降低趋势;林地分布指数呈逐步上升趋势;草地和耕地呈现先

增加后减少的趋势,但是草地在第四地形位梯度、耕地在第二地形位梯度分布指数最大通过对比高程、坡向、地形位分布指数对比,发现采用地形位指数来研究土地利用类型的分布与采用高程梯度和坡度梯度规律大致一致。引入地形位指数避免了分析土地利用类型只使用单个地形因子评价分析的不足,多个地形因子的综合考虑,能更有效地反映土地利用类型的分布格局。

### 3.5 基于坡向分级的土地利用结构分析

坡向对西昌市土地利用影响不大,除平坡外各坡向的各土地利用类型面积分布都较平均(见图 4)。阳坡和半阳坡光照和热量条件最好,在此坡向,草地、水田和耕地面积分布具有普遍优势,分布指数大于 1,说明阳坡适宜进行耕种,光照充足,利于农业种植;建设用地在平坡分布面积最小但分布指数较大,其余各坡向分布指数差异不明显表明在现代科技和建设工艺发展影响下,坡向对建设用地的影响已经逐渐减小;水体由于其独特的性质,在平坡具有优势分布;林地主要在平坡和阳坡分布面积小,分布指数低,表明西昌市因地制宜,宜林则林;其他用地在阳坡和阴坡分布面积大,且分布指数大于 1,进行开发利用时可以考虑该坡的用地类型建设。

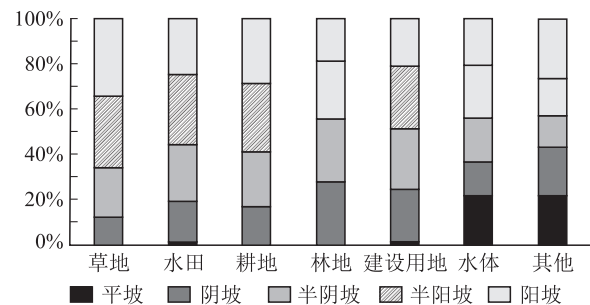


图 4 坡向分级的土地利用结构分布

Fig. 4 Distribution of land use structure in graded slope

## 4 结论与展望

利用面向对象图像分类的 Cart 决策树算法对遥感影像解译得到西昌市土地利用现状图,此种方法提取快速,精度高,对于错分的地块人机交互修改方便,提取地貌复杂地区土地利用类型效果更优。采用 DEM 数据提取高程、坡度和坡向信息,利用 GIS 空间技术对研究区土地利用与地形因子进行叠加处理,分析了西昌市土地利用在地形约束下空间分布特征。

(1)土地利用类型以林地为主,占总面积的50.51%,草地、水田、耕地和建设用地分布相对均衡,分别占总面积11.92%、11.56%、13.83%、10.16%,水体面积较小,占1.81%,其他用地类型为少量的工矿用地,以及滑坡后未恢复的裸地。占总面积不足0.2%。

(2)各土地利用类型在不同的高程、坡度、地形位上呈现出阶梯变化的规律:在低海拔、平缓坡度,分布着与人类生活生产密切的土地利用类型,如耕地、建设用地;在中等海拔高度和坡度上研究区所有土地利用类型所占比例均为最大值,原因是西昌市土地以山地、丘陵地貌为主,低海拔和平坦土地面积较小;高海拔和坡度较陡的区域分布指数较高的是林地,这些地区受人为影响小,土地开发程度弱,林地更新有人工种植、飞播、天然更新等方式,林地规模可较稳定的维持。

(3)坡向对土地利用的影响小,整体来讲,各地类在阳坡及半阳坡上的分布水平高于阴坡、半阴坡及平坡。水体分布在较低海拔地区,受限于地形分布,坡向影响不明显。

(4)西昌市地貌复杂,地形差异显著,土地利用类型受地形因素影响较大,景观格局分布复杂。当前的土地利用现状受地形约束明显,总体上符合自然和社会经济规律,没有极端的受人为或自然因素分布情况出现。未来对土地的开发利用应充分考虑地形的限制。

复杂地貌的复杂地形条件不仅约束土地利用分布格局,也一定程度影响遥感解译的结果,不论是基于像元的监督分类,还是面向对象的分类方法都受到地形因子的限制,遥感影像获取出现在阴坡上的阴影,地类混合分布等情况较多。目前的面向对象图像分类算法不能把这些因素充分考虑进去,未来需要开发更先进的算法充分考虑复杂地貌的各种因素,使分类精度从研究视角精度更多向用户直接用于生产的精度转化。

#### 参考文献:

[1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆

被变化的国际研究动向[J]. 地理学报,1996(06):553~558.

- [2] 王思远,刘纪远,张增祥,周全斌,赵晓丽. 中国土地利用时空特征分析[J]. 地理学报,2001(06):631~639.
- [3] 李秀彬. 土地利用变化的解释[J]. 地理科学进展,2002(03):195~203.
- [4] 左大康. 现代地理学词典[M]. 北京:商务印书馆,1990.
- [5] 李丹,刘丹丹,赵金祥. 基于DEM的山区土地利用变化分析[J]. 水土保持研究,2014,21(01):66~70+2.
- [6] 杜国明,匡文慧,孟凡浩,迟文峰,陆灯盛. 巴西土地利用/覆盖变化时空格局及驱动因素[J]. 地理科学进展,2015,34(01):73~82.
- [7] 贾宁凤,段建南,乔志敏. 土地利用空间分布与地形因子相关性分析方法[J]. 经济地理,2007(02):310~312.
- [8] 孙丽,陈焕伟,潘家文. 运用DEM剖析土地利用类型的分布及时空变化——以北京延庆县为例[J]. 山地学报,2004(06):762~766.
- [9] 邱扬,傅伯杰,王军,陈利顶. 黄土丘陵小流域土地利用的时空分布及其与地形因子的关系[J]. 自然资源学报,2003(01):20~29.
- [10] 龙花楼,李秀彬. 长江沿线样带土地利用格局及其影响因子分析[J]. 地理学报,2001(04):417~425.
- [11] 黄志坚. 面向对象影像分析中的多尺度方法研究[D]. 国防科学技术大学,2014.
- [12] 王云豹,罗菊春,崔国发. 我国自然保护区的现状特征分析——以浙、赣、闽三省部分县为例[J]. 江西林业科技,2006(03):47~50.
- [13] 周成虎,程维明,钱金凯,李炳元,张百平. 中国陆地1:100万数字地貌分类体系研究[J]. 地球信息科学学报,2009,11(06):707~724.
- [14] 马士彬,张勇荣,安裕伦. 山区城市土地利用动态空间分布特征——以贵州省六盘水市为例[J]. 自然资源学报,2012,27(03):489~496.
- [15] 龚文峰,袁力,范文义. 基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析[J]. 农业工程学报,2013,29(02):250~259+303.
- [16] 梁发超,刘黎明. 基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析——以湖南省浏阳市为例[J]. 资源科学,2010,32(11):2138~2144.
- [17] 刘纪远,张增祥,徐新良,匡文慧,周万村,张树文,李仁东,颜长珍,于东升,吴世新,江南. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报,2009,64(12):1411~1420.
- [18] 喻红,曾辉,江子瀛. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究[J]. 地理科学,2001(01):64~69.