

基于 RS 和 GIS 的雅安市植被覆盖度与地形因子相关分析

陈家良¹, 夏建国^{2*}, 余雨红² (1. 四川省不动产登记中心, 四川成都 610072; 2. 四川农业大学资源学院, 四川成都 611130)

摘要 以雅安市为研究区, 以 2001、2009 和 2016 年相同时像的 Landsat 遥感影像为数据源, 采用基于植被指数的像元二分法分别计算雅安市的植被覆盖度, 并且结合 DEM 数据, 分析不同海拔带、坡度带和坡向的植被覆盖分布及变化特征。结果表明, 雅安市植被覆盖度 2001—2016 年不断递增; 在海拔 0~3 000 m 区域植被覆盖度较高, 在海拔 >3 000 m 地区, 植被覆盖度依次降低。研究区植被覆盖度具有明显的坡度分宜特征, 总体上呈现出随坡度的增加植被覆盖度先增加后减少的特征。研究区域总体来看阴坡、半阴坡、阳坡、半阳坡 4 个坡相植被覆盖度差异不显著, 阴坡植被覆盖度较高。

关键词 植被覆盖度; RS; GIS; 海拔; 坡度; 坡向; 相关分析; 雅安市

中图分类号 X 87 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)05-0088-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.05.024



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Correlation Analysis of Vegetation Coverage and Topographic Factors in Ya'an City Based on RS and GIS

CHEN Jia-liang¹, XIA Jian-guo², YU Yu-hong² (1. Sichuan Real Estate Registration Center, Chengdu, Sichuan 610072; 2. College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130)

Abstract With a research on Ya'an City and the data collection of landsat remote sensing images of the same time in 2001, 2009 and 2016, the vegetation coverage of Ya'an City had been calculated by the dichotomy of pixels based on vegetation index. And combined with DEM data, the distribution and change characteristics of vegetation cover in different altitude zones, slope zones and aspect were analyzed. The results showed that the vegetation coverage in Ya'an City increased continuously from 2001 to 2016. The areas with altitude between 0 m and 3 000 m had a higher vegetation coverage while the vegetation coverage of areas with more than 3 000 m altitude reduces gradually. The vegetation coverage in Ya'an City also showed an obvious gradient characteristic, which the vegetation coverage increases first and then decreases among increased slope gradients. In terms of this area, there was a slight difference about the vegetation coverage of four slope facies, including shady slope, semi-shady slope, sunny slope and semi-sunny slope, with relatively high vegetation coverage on the shady slope.

Key words Vegetation coverage; RS; GIS; Altitude; Gradient; Aspect; Correlation analysis; Ya'an City

植被作为陆地生态系统的主体, 是连接土壤、大气和水分的纽带, 在维持气候、保持水土、调节大气和整个生态系统稳定等方面都具有特别重要的作用^[1]。植被覆盖度是植被的直观量化指标, 在特别大的程度上反映了植被的基本情况, 是研究气象、水文、生态等方面区域或全球性问题的基础数据^[2-3]。遥感技术作为对地观测的强有力工具, 其数据源具有在空间与时间上的绝对优势, 因而成为植被覆盖动态监测及全球变化研究的有效手段^[4-5], 特别在大尺度土地利用与植被覆盖变化规律的研究方面。随着遥感技术的发展, 对植被覆盖动态监测成为定量遥感技术的发展方向之一。遥感与地理信息为快速获取大范围、多时相的地表信息和高效的处理地物空间关系提供了可能^[6]。利用多源遥感对植被变化进行动态监测大大提高了植被监测精度^[7]。植被覆盖度的变化在防治区域干旱、风沙等自然灾害以及改良区域气候方面有着重要的作用^[8]。

地形特征是一个包括海拔、坡向和坡度等因子的多维变量, 它不仅决定光、热、水、土壤等植被生境中其他要素的空间分布, 而且还是直接影响植被垂直带谱、群落分布以及种群格局的主导因子^[9]。目前, 利用地形特征的差异性来揭示植被空间分布规律以及了解自然因素对植被分布的影响已经在景观和群落尺度的植被格局分析中引起关注, 逐渐成为

植被生态学研究的一个重点领域^[10]。通过植被覆盖度与地形因子的研究, 可以得到坡度、坡向、高程和植被覆盖度的关系, 更加直观地了解研究区的植被覆盖情况, 对研究区的生态保护、绿化工程等都有重要作用, 有利于研究区的环境生态保护。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 雅安市位于四川盆地西部边缘, 长江上游, 域跨 28°51'10"~30°56'40"N、101°56'26"~103°23'28"E, 东北邻成都市、东邻眉山市、东南邻乐山市、西连甘孜藏族自治州, 南界凉山彝族自治州、北接阿坝藏族羌族自治州, 面积共 15 314 km², 人口 153 万。气候属亚热带湿润季风气候, 年均降雨量 900~1 800 mm。全市北、西、南地势较高、东部地势较低。西北、西南边缘地带的极高山终年积雪。大渡河、青衣江是雅安市的主要河流, 其大小支流有近百条。

1.2 数据来源 数据主要来源于中国资源卫星应用中心、遥感图像数据库、地理空间数据云、国际科学数据服务平台, 影像数据主要包括雅安市 2001 年 5 月 Landsat 5、2009 年 5 月 Landsat 5、2016 年 5 月 Landsat 8 的遥感影像数据, 以及雅安市 GDEM(30 m 分辨率)DEM 影像。

1.3 数据处理和研究方法

1.3.1 几何校正。以雅安市谷歌地形图为基准, 选地面同名地物作为控制点, 配准获取的影像资料图; 用三角网格方法, 经双线性内插进行几何校正, 校正精度优于 1 个像元。以校正后的影像作为基准影像, 同法校正其余影像, 校正精度优于 0.5 个像元。

1.3.2 植被覆盖度的研究方法。通过植被指数信息提取和

作者简介 陈家良(1966—), 男, 四川营山人, 工程师, 从事不动产测绘与自然资源调查研究。* 通信作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事国土整治与生态修复、自然资源调查与耕地质量建设等方面研究。

收稿日期 2019-08-21

估算建立相应模型,再利用 $NDVI_{veg}$ 值和 $NDVI_{soil}$ 值缩减影响误差,最终通过叠加分析获得植被覆盖度的变化情况。

植被指数的提取公式:

$$NDVI = \frac{N_{ir} - R}{N_{ir} + R} \quad (1)$$

式中, $NDVI$ 为归一化植被指数; N_{ir} 为近红外地表反射率; R 为可见光红光波段地表反射率。

植被覆盖度的提取公式:

$$F_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (2)$$

式中, F_c 为植被覆盖度; $NDVI_{soil}$ 为裸地的 $NDVI$ 值; $NDVI_{veg}$ 为高覆盖的 $NDVI$ 值。

1.3.3 地貌要素对植被覆盖变化的影响。运用 SPSS 软件对 2001、2009 和 2016 年植被覆盖度 3 年均值分别与海拔、坡度、坡向进行相关性分析。运用 ArcGIS 对雅安市 DEM 影像海拔按照 0~2 000、>2 000~3 000、>3 000~4 000、>4 000~5 000 及 >5 000 m 以上分成 5 类,然后用 2001、2009 和 2016 年 3 年均值植被覆盖图和分段海拔专题图进行叠加统计,得到植被覆盖变化与海拔的相关关系。

运用 ArcGIS 使雅安市 DEM 影像生成坡度(S)文件,分成 $0^\circ \leq S < 5^\circ$ 、 $5^\circ \leq S < 8^\circ$ 、 $8^\circ \leq S < 15^\circ$ 、 $15^\circ \leq S < 25^\circ$ 、 $25^\circ \leq S < 45^\circ$ 、 $45^\circ \leq S < 90^\circ$,并与 3 年均值植被覆盖专题图进行叠加统计分析,得到坡度与植被覆盖变化的相关关系。

运用 ArcGIS 由雅安市 DEM 影像生成坡向文件,分为阴坡、阳坡、半阴坡、半阳坡 4 个分类,在坡向数据分级中,以正北方向为 0° ,按照 45° 夹角,顺时针计算划分为北坡($337.5^\circ \sim 22.5^\circ$)、东北坡($22.5^\circ \sim 67.5^\circ$)、东坡($67.5^\circ \sim 112.5^\circ$)、东南坡($112.5^\circ \sim 157.5^\circ$)、南坡($157.5^\circ \sim 202.5^\circ$)、西南坡($202.5^\circ \sim 247.5^\circ$)、西坡($247.5^\circ \sim 292.5^\circ$)、西北坡($292.5^\circ \sim 337.5^\circ$),南、西南为阳坡;北、东北为阴坡;西、东南为半阳坡;西北、东为半阴坡。并与 3 年均值植被覆盖专题图进行叠加统计分析,得到植被覆盖变化与坡向的相关关系。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖度总体变化特征 在参考相关文献的基础上,结合雅安市特有的生态环境特点,将植被覆盖度等级划分成 5 级进行研究:I 级高植被覆盖度, $F_c \geq 0.7$;II 级中植被覆盖度, $0.5 \leq F_c < 0.7$;III 级中低植被覆盖度, $0.3 \leq F_c < 0.5$;IV 级地植被覆盖度, $0.1 \leq F_c < 0.3$;V 级裸地植被覆盖度, $F_c < 0.1$ 。从图 1 可以看出,雅安市植被覆盖度总体较高,研究区中部植被覆盖度总体来说较高,西北边缘植被覆盖度较低。2001—2016 年研究区植被覆盖度总体上在不断增加,其中,据表 1 可得 I 级植被覆盖区域面积增加 $159\,029.6 \text{ hm}^2$,增幅为 59.61%,呈主导上升趋势;II 级、III 级、IV 级和 V 级区域面积分别减少 $60\,373.3$ 、 $75\,266.7$ 、 $13\,993.8$ 和 $9\,395.8 \text{ hm}^2$,分别降低为 6.59%、29.92%、23.61% 和 90.38%。

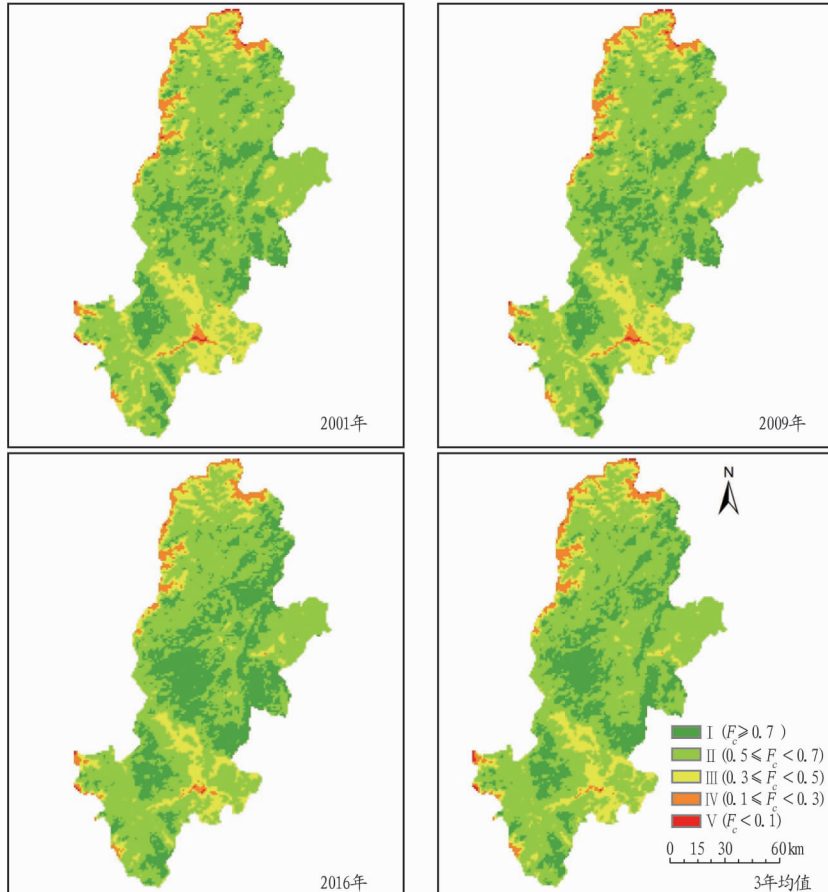


图 1 2001—2016 年植被覆盖度变化

Fig. 1 Changes of vegetation coverage from 2001 to 2016

从不同时段来看,研究区域内植被覆盖度的变化特征也不同,2001—2009年研究区植被覆盖度总体呈现缓慢上升的变化特征,表现在低植被覆盖区域面积减少,尤其V级降幅显著,面积减少6 597.10 hm²,降幅为63.46%;F_c≥0.5植被覆盖度面积都有不同程度的增加,但增幅不显著;研究区植被覆盖度呈缓慢上升趋势,特别是1998年长江下游发生了重大洪水灾害,人们逐渐意识到河流上游地区植被保护与生态环境建设的重要性,退耕还林政策和天然林保护等国家级工程开始实施,大面积的植树造林和植被保护,乱砍滥伐现象减少,以及公益林补贴政策,使其该研究区植被覆盖度呈

现增长趋势。2009—2016年研究区植被覆盖度总体呈现急剧上涨趋势,其中I级面积增加了15 0633.3 hm²,增幅为54.74%;II级、III级、IV级和V级区域面积分别减少66 770.4、71 368.4、8 796.1和2 798.7 hm²,分别降低7.23%、28.81%、16.27%和73.68%(表1)。在此研究时段,国家对植被保护更加高度重视,退耕还林政策的进一步实施以及前几批植树造林的成林,且随着时代进步,人们植被保护的意识有所提高,滥砍乱伐的行为得以显著减少,使得研究区植被覆盖度比前十几年上升得更快。

表1 2001—2016年不同植被覆盖区域面积统计

Table 1 Statistics of different vegetation coverage area during 2001—2016

植被覆盖度等级 Vegetation coverage level	2001		2009		2016		2001—2009年		2009—2016年		2001—2016年	
	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	变化量 Variation quantity hm ²	变化率 Change rate %	变化量 Variation quantity hm ²	变化率 Change rate %	变化量 Variation quantity hm ²	变化率 Change rate %
I	266 781.82	17.73	275 178.1	18.30	425 811.4	28.30	8 396.28	3.15	150 633.3	54.74	159 029.6	59.61
II	916 593.95	60.92	922 991.1	61.38	856 220.7	56.90	6 397.17	0.70	-66 770.4	-7.23	-60 373.3	-6.59
III	251 588.55	16.72	247 690.3	16.47	176 321.9	11.72	-3 898.30	-1.55	-71 368.4	-28.81	-75 266.7	-29.92
IV	59 273.74	3.94	54 076.0	3.60	45 279.9	3.01	-5 197.70	-8.77	-8 796.1	-16.27	-13 993.8	-23.61
V	10 395.40	0.69	3 798.3	0.25	999.6	0.07	-6 597.10	-63.46	-2 798.7	-73.68	-9 395.8	-90.38
合计 Total	1 504 633.46	100	1 504 633.8	100	1 504 633.5	100	-899.65	-69.93	899.64	-71.25	-0.04	-90.89

2.2 不同海拔带植被覆盖度分布及变化特征 SPSS相关性结果显示,植被覆盖度与海拔、坡度、坡向呈极显著相关关系,相关系数分别为-0.371、0.043、0.036。雅安市东部海拔较低,西北和西南海拔较高,全市海拔总体较高,2 000~4 000 m海拔区域分布广泛(图2、图3)。雅安北部邛崃山脉南延到西部二郎山,与北部南延的夹金山会合。南部和东南部有大

相岭与小相岭。西南、西北边缘地带分布极高山,海拔为5 793 m的无名山顶是最高峰。雅安市中山面积占总69%,面积大,分布广泛。低山仅占4%,主要在雨城区和名山区一带。河谷两侧多为丘陵与平坝,占总面积的6%。

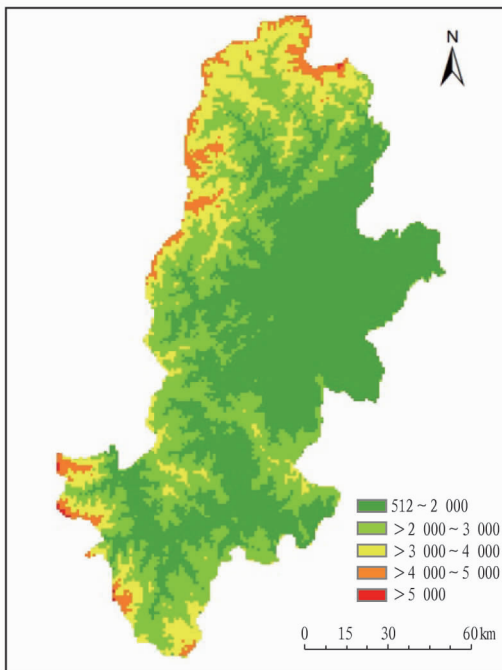


图2 雅安市海拔分布

Fig. 2 Altitude distribution of Ya'an City

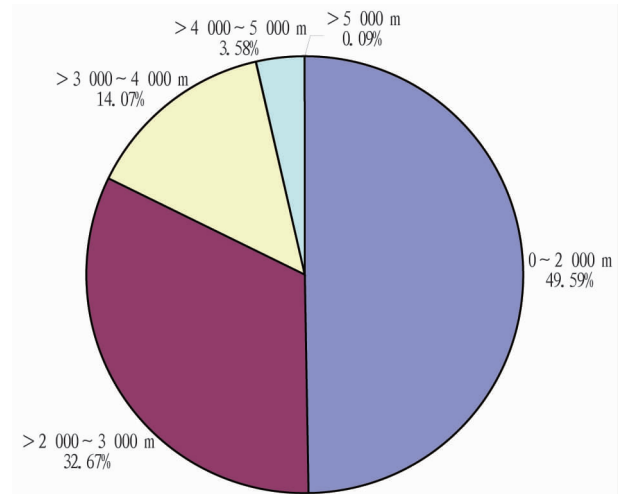


图3 雅安市海拔面积比例

Fig. 3 Proportion of altitude area in Ya'an City

从表2可看出,海拔低于3 000 m区域植被覆盖度较高,I、II级植被覆盖度占比分别高达27%和67%,海拔0~2 000 m区域的III、IV、V级植被覆盖度面积占比比海拔2 000~3 000 m区域高;在海拔>3 000 m区域,植被覆盖度依次降低,总体来看植被覆盖度较低。在海拔>5 000 m区域,I、II级植被覆盖度已经没有面积占比,V级占比最高,达42.86%。不同的海拔带,受到不同程度的水热分配条件和不同程度人类活动的

影响,植被覆盖度就会有所不同。在海拔差异大的多山地区,随着高程的升高,植被会呈现明显的垂直地带性分布^[11]。降水、气温和人类活动是造成植被覆盖度变化的主要因素,而在人类活动比较少的地区,影响植被覆盖度短期或长期变化的主要是气象因子^[12-13]。在研究区域内,海拔

相对较低区域(0~3 000)m,水热条件较好,退耕还林地较多,植被覆盖度较高,但低海拔区域同时受到人类农业和工业活动的影响,城市及周边区域植被覆盖度较低;而高海拔地区水热条件不足,且易受冰雪天气影响,冬季常年积雪,植被生长条件不好,故而植被覆盖度较低。

表 2 不同海拔带植被覆盖度的变化特征

Table 2 Variation characteristics of vegetation coverage in different elevation

植被覆盖度等级 Vegetation coverage level	0~2 000 m		>2 000~3 000 m		>3 000~4 000 m		>4 000~5 000 m		>5 000 m	
	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %
I	180 937.50	24.25	132 540.20	26.96	24 700.68	11.67	100.41	0.19	0	0
II	487 386.60	65.32	328 840.40	66.89	107 739.20	50.90	3 413.92	6.34	0	0
III	75 306.96	10.09	30 223.19	6.15	65 065.21	30.74	15 061.39	27.99	301.23	21.43
IV	2 409.82	0.32	0	0	14 157.71	6.69	33 335.88	61.94	502.05	35.71
V	100.41	0.02	0	0	0	0	1 907.78	3.54	602.46	42.86
合计 Total	746 141.29	100	491 603.79	100	211 662.80	100	53 819.38	100	1 405.74	100

2.3 不同坡度带植被覆盖度分布及变化特征 在大尺度上,地形因素特别是坡度因子参与水分再分配的过程,并在再分配过程中对土壤盐分和水分进行控制,从而影响植被生长^[14]。不仅如此,坡度还影响其他有机质和能量流动方向和方式,改变土壤特性研究区坡度信息^[15]。从图 4 可看出,雅安市坡度主要在 8°~45°,占全市总面积的 83.27%。0°~8°面积占比为 7.52%,而大于 45°面积占比仅有 9.21%,总体来看雅安市地形起伏较大,平地较少。研究区的植被覆盖度具有明显的坡度分宜特征,总体上呈现出随坡度的增加植被覆盖度先增加后减少的特征。由表 3 可知,II级植被覆盖度在 6 个坡度区间占比都是最大,其次为I级,再者依次为III、IV和V。I级植被覆盖度在 0°~45°面积占比依次提高,在>45°区间,面积占比有所下降;II、III级植被覆盖度随坡度增大依次递减,II级植被覆盖度在 0°~5°面积占比最大,为 70.28%;而IV、V级植被覆盖度面积占比随坡度的增加占比依次增加。这说明研究区植被覆盖的坡度分异特征很明显,地势平缓的地区受人口分布、工农业分布的影响较大,植被覆盖度相对较低;坡度较陡的区域由于受人类影响较小,植被生长环境

自然,覆盖度较高;而坡度陡的区域因其受地形影响,植被覆盖度有一定程度的降低。

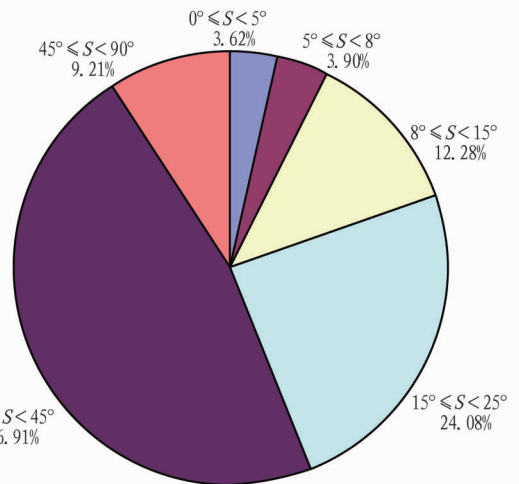


图 4 雅安市坡度比例

Fig. 4 Slope ratio of Ya'an City

表 3 不同坡度带植被覆盖度的变化特征

Table 3 Variation characteristics of vegetation coverage in different slope

植被覆盖度等级 Vegetation coverage level	0° ≤ S < 5°		5° ≤ S < 8°		8° ≤ S < 15°		15° ≤ S < 25°		25° ≤ S < 45°		45° ≤ S < 90°	
	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %
I	5 398.68	9.91	7 798.10	13.29	39 090.47	21.16	79 580.59	21.97	17 3457.70	24.58	32 592.05	23.52
II	38 290.66	70.28	39 990.25	68.14	115 371.90	62.45	222 545.70	61.44	429 095.30	60.79	81 180.20	58.58
III	9 397.71	17.25	9 697.63	16.53	24 094.12	13.04	45 888.81	12.67	79 880.52	11.32	17 495.73	12.63
IV	1 299.68	2.38	1 199.71	2.04	5 898.56	3.19	13 396.73	3.70	22 394.54	3.17	6 798.34	4.91
V	99.98	0.18	0	0	299.93	0.16	799.80	0.22	999.76	0.14	499.88	0.36
合计 Total	54 486.71	100	58 685.69	100	184 754.98	100	362 211.63	100	705 827.82	100	138 566.20	100

2.4 不同坡向带植被覆盖度分布及变化特征 坡向一定程度上决定了区域的光照条件及水热状况,从表 4 来看,研究区域总体来看阴坡、半阴坡、阳坡、半阳坡 4 个坡相植被覆盖

度差异不显著, I、II级植被覆盖度面积比例大致来看阴坡>半阴坡>半阳坡>阳坡, III、IV、V级植被覆盖度面积比例大致来看阳坡>半阳坡>半阴坡>阴坡。总结来看,研究区阴坡植被

覆盖度较高一些,阴坡温度较低,水分蒸发量较少,土壤腐殖质层较厚,土层厚度较大,植被生长状况较好,植被覆盖度较高。

表4 不同坡向带植被覆盖度的变化特征

Table 4 Variation characteristics of vegetation coverage in different aspect

植被覆盖度等级 Vegetation coverage level	阴坡 Shady slope		半阴坡 Semi-shady slope		阳坡 Sunny slope		半阳坡 Semi-sunny slope	
	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %	面积 Area hm ²	比例 Proportion %
I	85 279.20	22.98	83 579.61	22.89	78 580.83	21.50	90 477.93	22.46
II	235 342.60	63.42	226 944.70	62.14	219 546.50	60.06	244 640.30	60.74
III	40 590.10	10.94	43 089.49	11.79	49 887.83	13.65	52 987.08	13.15
IV	9 397.71	2.53	10 797.37	2.96	16 995.85	4.65	13 796.63	3.43
V	499.88	0.13	799.80	0.22	499.88	0.14	899.78	0.22
合计 Total	371 109.49	100	365 210.97	100	365 510.89	100	402 801.72	100

3 结论

(1) 总体来看,雅安市植被覆盖度较高,植被覆盖度总体状况较好,其植被覆盖度 2001—2016 年不断增长,2001—2009 年研究区植被覆盖度总体呈现缓慢上升的变化特征;2009—2016 年研究区植被覆盖度总体呈现急剧上升趋势。

(2) 雅安市植被覆盖垂直分异特征显著,在海拔 0~3 000 m 区域植被覆盖度较高,在海拔>3 000 m 地区,植被覆盖度依次降低。

(3) 研究区的植被覆盖度具有明显的坡度分异特征,总体上呈现出随坡度的增加植被覆盖度先增加后减少的特征。

(4) 研究区域总体来看阴坡、半阴坡、阳坡、半阳坡 4 个坡相植被覆盖度差异不显著,阴坡植被覆盖度较高。

参考文献

- [1] 胡玉福,邓良基,刘宇,等.基于 RS 和 GIS 的大渡河上游植被覆盖时空变化[J].林业科学,2015,51(7):49-59.
- [2] 秦伟,朱清科,张学霞,等.植被覆盖度及其测算方法研究进展[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(9):163-170.
- [3] 史冲.植被指数在植被覆盖度测算中的应用[J].北京测绘,2014(2):94-97.
- [4] 李明杰,侯西勇,应兰兰,等.近十年黄河三角洲 NDVI 时空动态及其对

气温和降水的响应特征[J].资源科学,2011,33(2):322-327.

- [5] 潘桂行,乔晓英,黄金廷,等.2000~2014 年海流兔河流域植被覆盖度变化及其驱动因素分析[J].安徽农业科学,2015,43(31):264-267,271.
- [6] HUANG F, WANG P. Vegetation change of ecotone in west of northeast China plain using time-series remote sensing data [J]. Chinese geographical science, 2010, 20(2): 167-175.
- [7] 李艳.基于 RS 的植被覆盖度变化及地形因子相关性研究[J].城市地理,2016(18):80-81.
- [8] 韩兰英,王宝鉴,张正德,等.基于 RS 的石羊河流域植被覆盖度动态监测[J].草业科学,2008,25(2):11-15.
- [9] 孔宁宁,曾辉,李书娟.四川卧龙自然保护区植被的地形分异格局研究[J].北京大学学报(自然科学版),2002,38(4):543-549.
- [10] 张金屯.植被数量生态学方法[M].北京:中国科学技术出版社,1995.
- [11] 崔晓临,白红英,王涛.秦岭地区植被 NDVI 海拔梯度差异及其气温响应[J].资源科学,2013,35(3):618-626.
- [12] 刘春雨,董晓峰,刘英英.西北干旱区土地利用结构变化及生态服务价值的响应:以民乐县为例[J].兰州大学学报(自然科学版),2013,49(5):675-681,687.
- [13] 白建军,白江涛,王磊.2000~2010 年陕北地区植被 NDVI 的时空变化及其与区域气候的关系[J].地理科学,2014,34(7):882-888.
- [14] 吴大千,刘建,王伟,等.黄河三角洲植被指数与地形要素的多尺度分析[J].植物生态学报,2009,33(2):237-245.
- [15] OSTENDORF B, REYNOLDS J F. A model of arctic tundra vegetation derived from topographic gradients [J]. Landscape ecology, 1998, 13: 187-201.

(上接第 87 页)

- [11] KAMP U, BYRNE M, BOLCH T. Glacier fluctuations between 1975 and 2008 in the Greater Himalaya Range of Zaskar, southern Ladakh [J]. J Mt Sci, 2011, 8: 374-389.
- [12] 王建. 卫星遥感雪盖制图方法对比与分析[J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(4): 29-36.
- [13] 张明华. 基于 ETM⁺ 影像的西藏南迦巴瓦峰地区海洋性冰川信息提取[J]. 冰川冻土, 2005, 27(2): 226-232.
- [14] 龚璐. 地学信息图谱应用的展望[J]. 科技广场, 2011(1): 235-237.
- [15] 赵慧, 张明明, 赵艳玲. TM6 热红外波段温度信息提取研究[J]. 科技

创新导报, 2008(17): 7.

- [16] 宋波, 何元庆, 庞洪喜, 等. 基于遥感和 GIS 的我国季风海洋型冰川区冰碛物覆盖型冰川边界的自动识别[J]. 冰川冻土, 2007, 29(3): 456-462.
- [17] 张璐, 杜华强, 周国模, 等. 决策树结合混合像元分解的中国竹林遥感信息提取[J]. 遥感学报, 2019, 23(1): 166-176.
- [18] 杨超, 鄂国锋, 李清泉, 等. 植被遥感分类方法研究进展[J]. 地理与地理信息科学, 2018, 34(4): 24-32.
- [19] 张继平, 林林山, 张锺铨, 等. 面向对象的极高海拔区水体及冰川信息提取: 以珠穆朗玛峰国家级自然保护区核心区为例[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(4): 517-523.