

喀斯特地貌区植被覆盖与地形因子的空间关系分析

——以贵州普定县为例^{*1}

王毅 郭跃

(重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 401331)

【摘要】:以贵州省普定县为研究区,选取区内植被覆盖为研究对象,综合运用遥感和GIS技术,借助空间叠加分析,研究了区内植被覆盖度分别随地形因子变化的规律,再利用普定县土地利用现状图与植被覆盖分布图和各地形因子叠加综合并结合分布指数分析了地形因子与植被覆盖分布的格局。研究表明:(1)向阳坡向、低海拔地区以低植被覆盖度为主;高程1400~1600m的地区,坡度在25°以上的地区,坡向上东北坡、北坡、西南坡、西北坡的地区,地表切割深度30~40m上的地区为植被分布的优势地形位;(2)在优势地形位上各级植被覆盖的分布面积波动较大,这也体现了植被覆盖的分布格局与地形因子的空间关系具有较大的不确定性;(3)人为因素对植被发育、分布的影响较大,地形因素通过影响会限制人类活动,而间接影响或有利于植被的生长。研究结论有助于揭示普定县植被覆盖的空间分布和变化特征,对喀斯特区域生态环境的评价和改良具有重要的参考价值,同时也为喀斯特地区植被修复、保护和石漠化防治提供决策依据。

【关键词】:喀斯特地貌;植被覆盖度;地形因子;数理统计

【中图分类号】:X87 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2018)01-0157-11

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201801018

近年来,不少学者从多个角度对植被与地形进行了研究,他们分别从不同区域尺度出发,利用多时相卫星遥感影像进行植被制图,并与DEM模型数据进行叠加分析,定量分析了植被覆盖度与地貌因子间的关系,得出了研究区植被随地形变化的规律^[1];从数理统计的角度分析区内不同植被覆盖度与地形等级因子的相关性,并就相关强度进行排序^[2];研究不同植被类型在各种地形因子单元上的分布格局及变化特点^[3]。可见通过地形因子的差异来研究植被空间分布规律,已成为揭示植被与地貌因子关系的重要途径^[2]。目前国内外学者对喀斯特地区植被的生长发育与地形因子的关系做了大量研究,且大多集中在分析非喀斯特地区植被覆盖度随着各地形因子等级的增加而变化的规律,较少定量分析比较各类地形因子对植被覆盖的相关性强度大小。同时植被覆盖程度和地形因子间的关系,受地域影响很大,不同地域特征可能呈现出完全不同的结果。故本文在此基础上,选取中国南方典型喀斯特地貌区贵州省普定县为研究区,利用ArcGIS10.2软件,将植被覆盖图与各地形因子叠加综合分析,并结合本区土地利用现状图分析研究区植被覆盖的空间分布特征及其与地形因子的关系,得出不同等级植被覆盖度分别主要受哪种地形因子的影响,并提出地形因子对植被覆盖空间分布的影响机制。

¹ 收稿日期:2017-04-07;修回日期:2017-07-10

基金项目:国家科技支撑技术项目(NO.2014BAB03B01)

作者简介:王毅(1990~),男,硕士研究生,主要从事环境灾害与生态保护。E-mail:928592282@qq.com

*通讯作者 E-mail:cqguoyue@126.com

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

普定县位于贵州省中部，地处黔西喀斯特腹地、云贵高原东侧，总面积 1085.38km²，境内海拔 1019~1795m(图 1)；属于亚热带季风湿润性气候，全年气候温和，无霜期长，雨量充沛，日照少，辐射能量低，年均气温 15.1℃，年均降水量 1390mm。土壤种类主要有石灰土、黄壤和黄棕壤，土层平均厚度为 38.4cm，土层发育较薄，土地利用强度较大，利用类型多样。并且全县喀斯特地貌广泛发育，碳酸盐岩出露面积 863.7km²，占全县国土面积的 79.2%。位于长江和珠江水系的结合地带，是长江中上游防护林体系建设工程和珠江流域综合治理防护林体系建设工程的重点县。

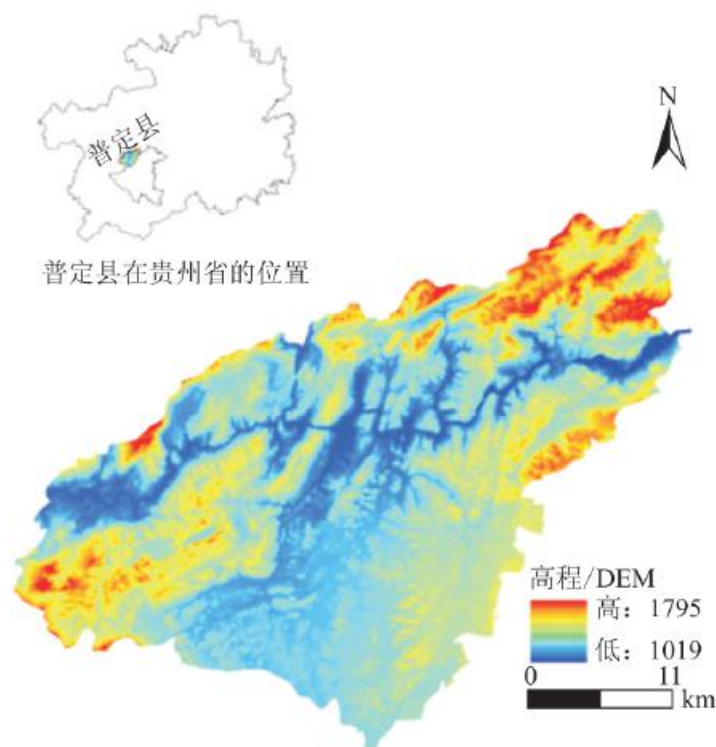


图 1 研究区地势图

Fig. 1 Topography of the study area

1.2 数据处理与地形因子的选择

1.2.1 数据的来源与处理

本研究的数据包含普定县 DEM 数据(分辨率 30m)、Landsat8 影像和普定县土地利用现状图，DEM 数据、2015 年 6 月 29 日的 Landsat8 影像是来自于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)，土地利用现状图来自国家地球系统科学数据共享平台西南山地数据资源点。Landsat8 影像数据成像时间在夏半年，能够充分代表研究区植被覆盖的一般情况，原始遥感数据的分辨率均为 30m。由于遥感影像有云覆盖，为了保证提取植被数据的精度，利用 ENVI5.2 软件先后对 Landsat8 影像数据进行了大气校正、辐射定标、几何校正和投影变换处理后再计算 NDVI 植被指数和反演基于 NDVI 的像元二分模型的植被覆盖度；贵州省 2014 年 1:10 万土地利用数据集通过 ArcGIS10.2 软件，利用普定县行政界线图在贵州省土地利用数据集中提取出普定县的土地利用数据，

形成普定县土地利用类型现状图。

1.2.2 地形因子的选择

本研究以普定县的地形因子为切入点，选取海拔高度、坡度、坡向和地表切割深度 4 个地形因子作为研究指标来反映典型喀斯特地貌区地表崎岖不平、支离破碎、沟壑纵横的地形地貌特征。并综合统计分析研究区各地形因子与植被覆盖分布状况的关系与特点。运用 Arc-GIS10.2 软件从研究区 DEM 中提取高程、坡度、坡向和地表切割深度 4 个地形因子^[4]，在学者们对地貌形态要素研究成果的基础上，结合研究区的实际情况，基于研究区 30m 分辨率 DEM 等数据各地形因子进行等级划分^[5, 6]。分级情况如下：

1) 高程:普定县最大高程 1842m，高差 820m，结合研究区海拔高度的实际分布，同时为了方便研究，将高程分为 4 类:1000~1200m、1200~1400m、1400~1600m、>1600m；

2) 坡度:研究区坡度范围为 $0^{\circ} \sim 74.5^{\circ}$ ，参照《水土保持综合治理规划通则 GB-T15772-1995》^[7]，依据研究区坡度实际分布以及考虑到研究区地形及其对植被长势的具体影响，将分级改进为 $0^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 、 $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 、 $12^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 、 $18^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 、 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、 $>35^{\circ}$ 这 6 级；

3) 坡向:把研究区划分为 8 个自然坡向，分别为 N、NE、E、SE、S、SW、W、NW；

4) 地表切割深度:地面某点邻域范围的平均高程与该邻域范围内的最小高程的差值，其值直观地反映了地表被侵蚀切割的情况，并对这一地学现象进行了量化，是研究水土流失及地表侵蚀发育状况的重要参考指标，研究区最大地表切割深度为 116m，根据文献^[8]以及研究区特殊的地貌形态特点，将地表切割深度分为 6 级，分别为 0~20m、20~40m、40~60m、60~80m、80~100m、>100m，具体如图 2~5。

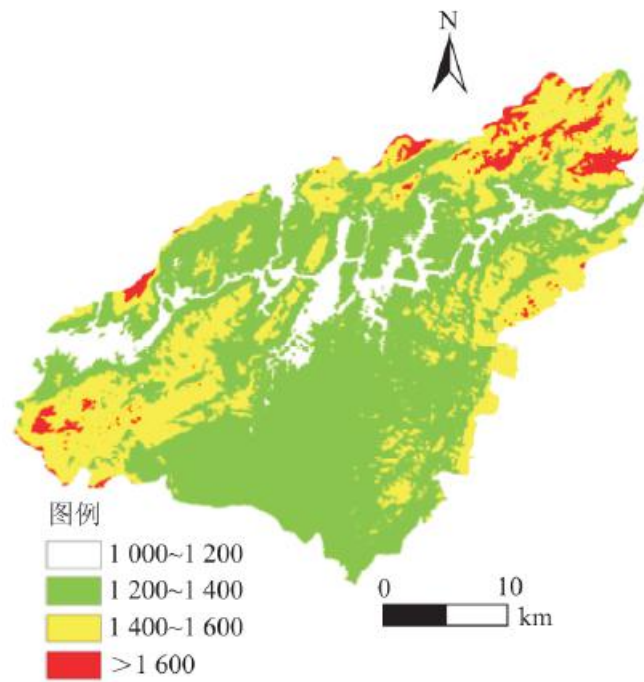


图 2 普定海拔高度分级图
Fig. 2 Altitude map of Puding

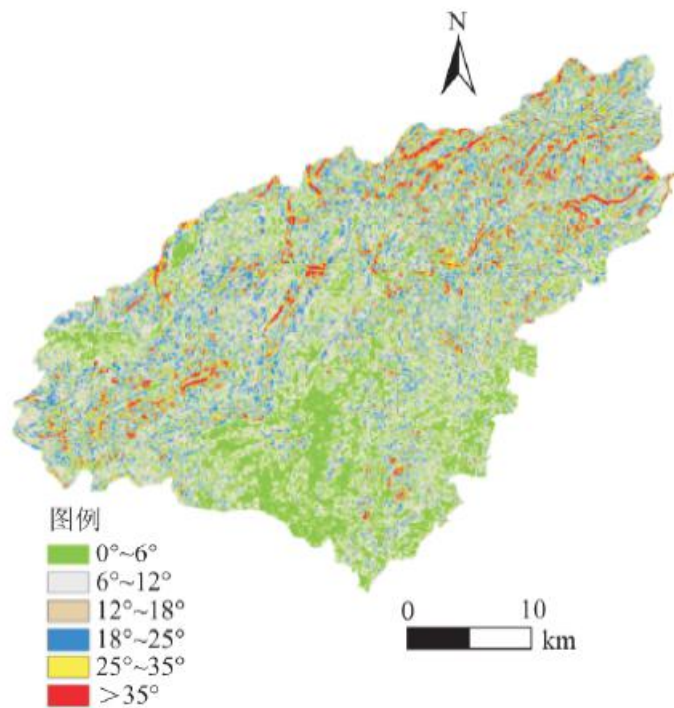


图 3 普定坡度分级图
Fig. 3 Slope map of Puding

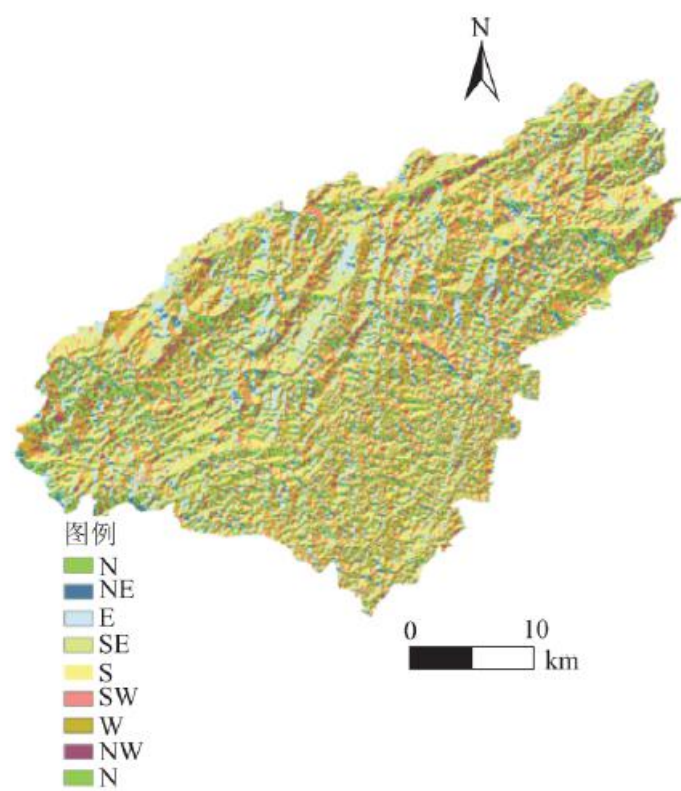


图 4 普定坡向分级图

Fig. 4 Slope aspect map of Puding

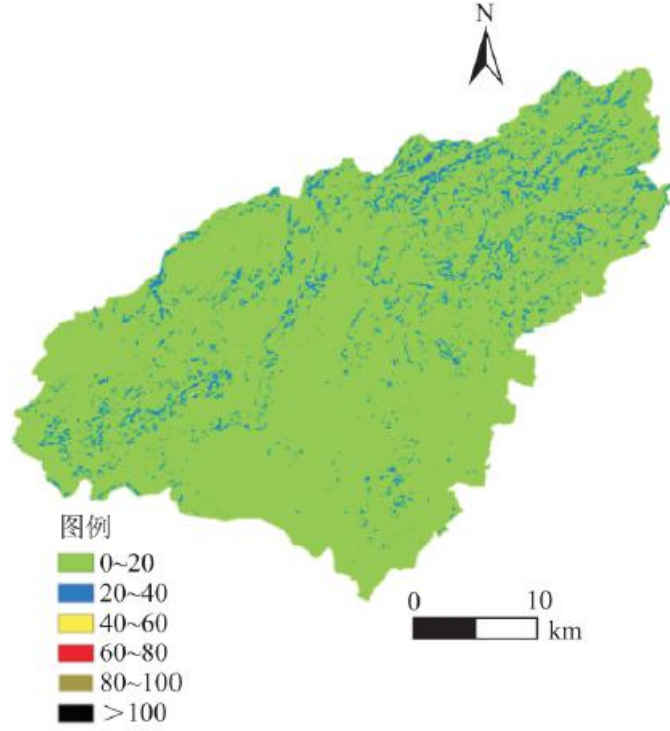


图 5 普定地表切割深度分级图

Fig. 5 Incisionmap of Puding

1.3 研究方法

1.3.1 植被覆盖度归一化植被指数 (NDVI)

归一化植被指数又称标准化植被指数，可以消除地形和群落结构的阴影和辐射干扰、太阳高度角、大气条件有关辐照度的变化等方面的优点，被广泛应用于植被覆盖度的统计指标^[9]。NDVI 的计算公式为：

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

式中：NIR 为近红外波段 (0.7~1.1 μm) 的反射率，R 为红光波段 (0.4~0.7 μm) 的反射率。

NDVI 反演植被覆盖度^[10, 11]：在 NDVI 的基础上进一步计算研究区的植被覆盖度，需要将 NDVI 转化为植被覆盖度，本研究中选取基于 NDVI 的像元二分模型，用于计算植被覆盖度 FC，其计算公式如下：

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

NDVI_{veg}为纯植被覆盖像元的NDVI值；NDVI_{soil}为全裸土覆盖区域的NDVI值。两者的确定直接影响到植被覆盖度估算的结果。对于大多数类型的裸土，NDVI_{soil}理论上接近于零值，且不随时间改变，可由图像中计算出来；NDVI代表植被覆盖像元的最大值，受植被类型的影响，也会随着时间和空间而改变。实际应用中，植被覆盖类型随土地利用类型而变化，对于某一土地利用类型，由于植被类型近似，其NDVI_{veg}值也相近；而对于特定的土壤类型，其NDVI_{soil}值也应该是一定的。因而式(2)可近似表达为：

$$F_c = \frac{(NDVI - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})} \quad (3)$$

1.3.2 变异系数

变异系数是用来衡量地理要素在时间与空间上的相对变化(波动)程度的统计量^[12]，其公式为：

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (4)$$

式中： C_v 为变异系数； S 为标准差； $\bar{X}$ 为平均值。变异系数不受量纲影响，因此可以通过计算各地形因子的变异系数来分析各地形因子的离散趋势，来表示各地形因子的波动程度。 C_v 值越大，表示某地形因子的离散趋势越大，波动程度也越大。研究中首先引入变异系数来计算各地形因子的波动程度，是为了解释和说明基于研究区典型喀斯特岩溶区特定的地形因子下植被分布特征的特殊性而做的基础性分析。

1.3.3 普定县植被覆盖度分级标准

根据国家水利部的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190~2007)^[13]、相关文献资料^[14, 15]以及研究区植被覆盖的实际情况，本文将研究区植被覆盖度分为五级，如表1。

表1 普定县植被覆盖度分级

等级	植被覆盖度	植被覆盖度级别
I 级	0% ~ 10%	裸地
II 级	10%~30%	低植被覆盖度
III 级	30%~45%	中低植被覆盖度
IV 级	45%~60%	中植被覆盖度
V 级	>60%	高植被覆盖度

1.3.4 空间叠置分析

将植被覆盖度图层分别与高程、坡度、坡向和地表切割深度图层两两叠合，应用 GIS 中的空间分析功能，研究植被覆盖与单一地形要素的关系；将植被、高程、坡向、坡度和地表切割深度图层同时叠置成综合图层，可以从不同的空间角度来详细研究植被覆盖的空间分布。

1.3.5 分布指数

为了描述不同地形条件上植被覆盖的空间状况，消除不同地形因子面积分布差异造成的影响，研究引入分布指数来说明植被覆盖在不同地形条件的分布情况^[16, 17]，其公式为：

$$P = \frac{(S_{ie} / S_i)}{(S_e / S)} \tag{2}$$

式中:P 为植被在第 e 种地形位下的分布；指数 S_i 为研究区植被覆盖的总面积； S_e 为研究区内第 e 种地形位的总面积；S 为研究区的土地面积。当 $P>1$ 时，表示植被覆盖度在某地形位上的比重大于研究区内植被覆盖度的比重，说明植被覆盖度在该类地形位上出现的频率较高，即该地形位是植被覆盖空间分布的优势地形位，若 P 值越大，优势程度越明显。

2 结果与分析

2.1 地形因子离散趋势及分布特点

利用 ArcGIS10.2 软件栅格数据的空间分析功能，从研究区提取了海拔高度、坡度、坡向和地表切割深度 4 个地形因子，并根据公式(4)分别计算了其变异系数，从表 1 可以看出，高程的变异系数数值最小，离散趋势最小，而坡度、坡向、地表切割深度均相对较大，离散趋势较大。这表明在普定县域内高程的波动程度较小，坡度、坡向、地表切割深度的变异系数的波动程度较大。这在一定程度上能够反映出研究区由地表地下水对可溶性碳酸盐岩长期溶蚀、冲蚀、潜蚀而发育成冲沟、石芽、漏斗、喀斯特洼地等典型喀斯特地貌景观的特征，使研究区地面崎岖不平，支离破碎，千沟万壑，所以海拔的相对高度变化较小，坡度、坡向和地表切割深度变化程度较大。

通过在 ArcGIS10.2 软件的空间分析对 4 个地形因子进行重分类并分级显示后，对研究区各地形因子的分布情况进行统计，结果如表 2 所示。根据统计结果来看，研究区地形因子具有以下空间分布特征：①海拔高度方面，研究区海拔大部分在 1600m 以下，其在研究区的占比高达 96.65%，其中海拔处于 1200~1400m 的地区所占面积最广，占研究区的 58.48%；②坡度方面，坡度小于 25° 的地区面积占比最大，占研究区的 86.18%，坡度大于 25° 的土地面积分布较少；③坡向方面，各个坡向的面积大小分布接近相等，但有细微差别，N、NW、SE 坡向面积较大，这是研究区地势东北、西北较高中间较低的总体体现；④地表切割深度则以小于 30m 为主，占 97.87%，切割深度 30~60m 占 2.10%，大于 60m 的分布不足 1%。综合以上地形因子数据来看，研究区地貌形态在垂直高度上以中低地形等级位为主，水平方向上以中小变化率地形等级为主，地形因子的总体变化率较大，体现出了研究区的喀斯特高原地貌处在中期发育阶段，同时也反映出喀斯特地形区支离破碎、千沟万壑、崎岖不平的典型地貌特点，本区基础地形因子的基本条件在一定意义上直接影响了本区植被覆盖发育、分布的状况。

表 2 地形因子变异系数

地形因子	海拔高度	坡度	坡向	地表切割深度
------	------	----	----	--------

变异系数	0.09	0.66	0.57	0.73
------	------	------	------	------

表 3 地形因子分布面积统计

地形因子	地形位	面积 (km ²)	百分比 (%)	地形因子	地形位	面积 (km ²)	百分比 (%)
海拔高度 (m)	1 000-1 200	100.85	9.34	坡度 (°)	0~6	226.15	20.93
	1 200-1 400	631.70	58.48		6~12	291.88	27.02
	1 400-1 600	311.47	28.83		12-18	236.73	21.91
	>1 600	36.26	3.36		18-25	176.34	16.32
坡向	N	143.39	13.27	地表切割 深度 (m)	25-35	112.53	10.42
	NE	124.76	11.55		>35	36.65	3.40
	E	124.92	11.56		0~20	980.34	90.13
	SE	148.75	13.77		20-40	102.38	9.41
	S	138.55	12.83		40-60	4.67	0.43
	SW	121.07	11.22		60-80	0.27	0.02
	W	127.89	11.84		80-100	0.02	0.007
	NW	150.96	14.00		>100	0.01	0.003

2.2 研究区植被覆盖的空间分布特征

基于植被指数 (NDVI) 反演普定县区域内 2015 年夏季植被覆盖度的情况, 结果如图 6, 区域中部、南部植被覆盖极低, 研究区四周, 尤其是北部、东北部和西南部植被覆盖情况较好。由图 7 统计可知, 普定县无植被覆的裸地面积达 14.90km², 占总面积的 1.38%, 二、三级分别占 7.30%、14.69%, 中度植被覆盖度面积占 33.42%, 高植被覆盖度面积占 43.21%, 低于总体面积的 1/2。再将本区植被覆盖度与土地利用类型图叠加统计分析, 本区林地利用类型面积仅占 19.16%, 旱地、草地面积较大, 占 41.49%。虽本区植被覆盖度在数值上体现为中等水平, 结合课题组实地踏勘验证可知研究区耕地多分布在海拔 1000~1400m、2°~6° 坡度较缓的区域, 受农作物等植被类型的生长周期的影响较大, 由于夏季农作物生长发育为本区的植被覆盖度和分布面积贡献率显著, 所以根据这些统计数据的空间分析表明普定县植被覆盖的实际情况较差, 以中低植被覆盖等级为主, 且多为后天人工培育林, 无天然原始林, 其中大片土地裸露, 研究区轻度以上石漠化面积占总面积的 63.21%^[18] 石漠化很严重利用 ArcGIS10.2 软件制作各地形因子分级图, 并与研究区植被覆盖等级分布图进行叠置分析, 得到植被覆盖等级分布在各地形因子上的分布信息图, 通过 ArcGIS10.2 软件的空间属性查询和统计, 得到研究区植被覆盖度在不同地形因子分级梯度上的分布情况。

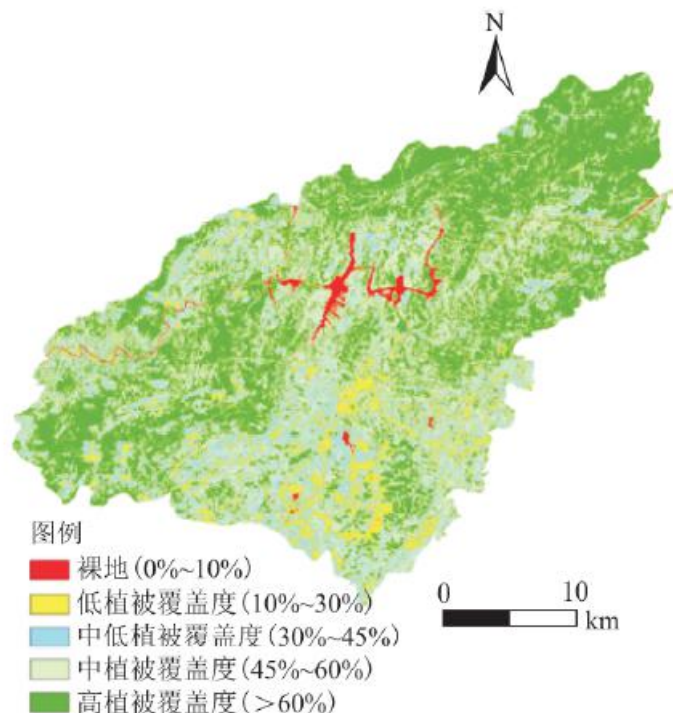


图 6 普定县 2015 年植被覆盖等级图

Fig. 6 Map showing the vegetation coverage of the Puding County in 2015

2.2.1 植被覆盖度随高程变化的特征

山地存在气温垂直递减率和相对湿度在一定高程范围内随海拔升高而增加，同时，随着海拔的变化，不同高度上接受的辐射量、空气流动状况和土壤性质等自然要素也要发生变化^[19]。由图 7 可知，植被覆盖度随着海拔高度的增加而呈现出先增大后减小的趋势，中高度植被覆盖在 1400~1600m 高程范围内达到最大值，之后略有减小。中度植被覆盖在 1200~1400m 高程范围达到最大值，然后逐渐减少。海拔高度在 1400m 以下的范围，低植被覆盖度和裸地比例较大。

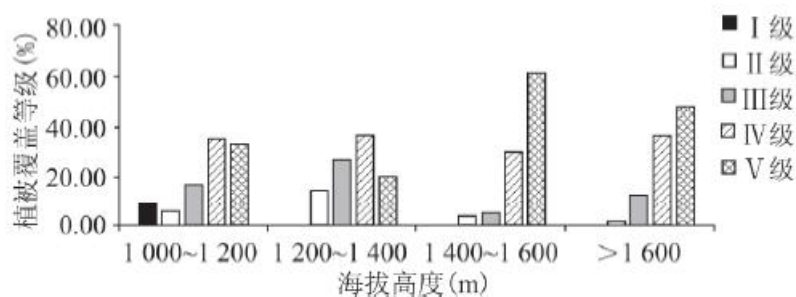


图 7 各级高程范围内植被覆盖度变化直方图

Fig. 7 Histogram of vegetation coverage in different ranges of elevation grades

分析其原因，研究区内海拔最高不超过 1800m，相对高差 776m 左右，为高原面上的中低山地地形，在这个海拔高度上，研究区整体上的水热配合相对较好，所以出现植被覆盖度随着高程的增加而呈现出增大的趋势。海拔高度在 1400m 以下的范围内，地势相对较平缓，水热条件较好，工农业较发达，城镇等聚落集中布局在这一地势范围内，人类活动较频繁，又加之研究区属于典型喀斯特地貌，生态极其敏感脆弱，当地居民对本范围的自然环境不科学地人为改造、破坏较大，且难以恢复，例如低海拔地区的大部分灌丛和林地被转化为耕地或者建设用地，致使石漠化严重，使植被覆盖度较低。

2.2.2 植被覆盖度随坡度变化的特征

坡度表示局部地表的倾斜程度，直接影响地表物质能量的交流转化方式与程度，能改变土壤的基本属性，同时在很大程度上能影响地表植被的分布态势^[20]。与地理环境的热量、水分条件、土壤厚度等因素的关系密切，对不同生物的生长条件影响很大^[21]。由图 8 可得，总体上植被覆盖面积由坡度的升高而增大，随后有略微的降低，其中高度植被覆盖度随坡度的增大而所占比例不断增大。中度植被覆盖度随坡度增加而增加之后减小，在坡度 25° 以下的范围中裸地、低度植被覆盖的面积分布也较大。坡度小于 25° 的地域可作为发展农业生产的耕地，由于喀斯特贫困的地区的普定生产单一，以种植业为主，经济较落后，为摆脱贫困，农业生产活动强度大，加之不合理的生产方式，加剧了该地形区域的水土流失，石漠化严重。而坡度较大的地区，人类干预较少，植被覆盖相对较好，中高度植被覆盖面积比例随坡度增大而增加。

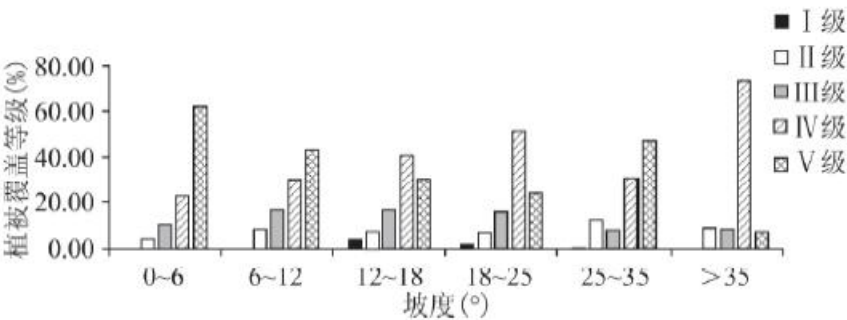


图 8 各级坡度范围内植被覆盖度变化直方图

Fig. 8 Histogram of vegetation coverage in different ranges of slope grades

2.2.3 植被覆盖度随坡向变化的特征

坡向表示了每一个栅格高程值变化量的改变方向，不同的坡面朝向所接受的太阳辐射量和土壤水分量存在很大的差别，进而对植被的分布特征也有很明显的影 响。由图 9 可得，高度植被覆盖的在东北坡、西北坡，其次是西坡南坡，中高度植被覆盖面积在偏南方向分布较低，偏南坡的裸地、低度植被覆盖分布面积较大。由此可以看出偏南坡植被覆盖较其他坡向差，虽偏南坡为向阳坡，水热条件较好，且地势低平，是森林植被生长的优势部位，但此部位工农业发达，聚落交通等分布集中，林业用地极少，所以植被覆盖较低。

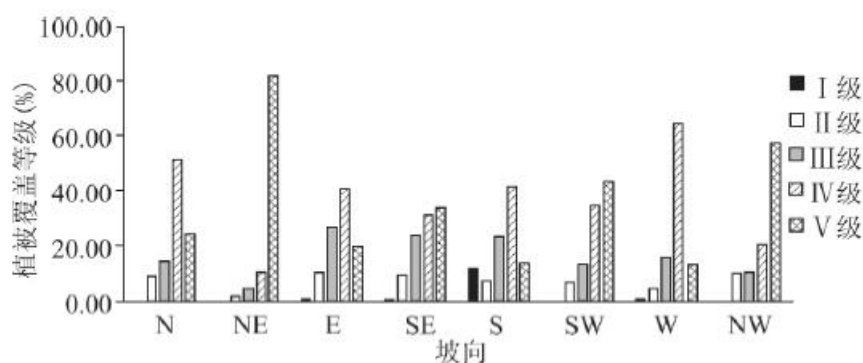


图 9 各级坡向范围内植被覆盖度变化直方图

Fig. 9 Histogram of vegetation coverage in different ranges of sloped aspects

2.2.4 植被覆盖度随地表切割深度变化的特征

地表切割深度是指地面某点邻域范围的平均高程与该邻域范围内的最小高程的差值，能对喀斯特地区特有的地学现象进行了量化，其值能直观地反映地表被侵蚀切割的情况，是研究水土流失及地表侵蚀发育状况的重要参考指标^[10]。如图 10，研究区内，高度植被覆盖面积比例随地表切割深度增大先增大后急剧下降至零，且在切割深度 40~60m 上达到最大，之后骤降至零。地表切割深度值较小时，在 0~20m 之间植被覆盖度较低，裸地、低度植被覆盖分布面积较大，地表切割深度 80m 以上裸地、低度植被覆盖达到最大，在这一切割深度范围内溶沟、溶槽发育，还常常发育溶洞，土层薄并常有落水洞、漏斗发育，基岩大面积裸露，水流被溶隙迅速吸收转入地下，其保水保土能力差，不利于植被生长发育。

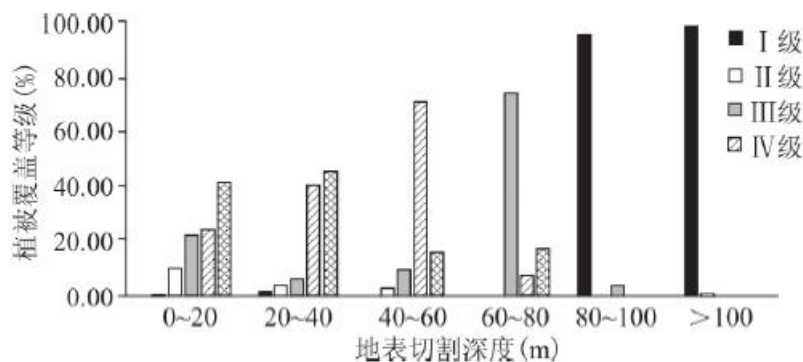


图 10 各级地表切割深度范围内植被覆盖度变化直方图

Fig. 10 Histogram of vegetation coverage in different ranges of Surface cutting depth grades

2.2.5 植被覆盖分布的优势地形位

分布指数曲线能够在一定程度上反映出植被覆盖在地形位分级梯度上的分布变化状况，并且分布指数曲线的弯曲程度，也可以反映出中高植被覆盖的分布在某地形位上出现的频率大小，从量化的角度来揭示研究区植被覆盖度与地形因子的空间定

量关系(图 11)。

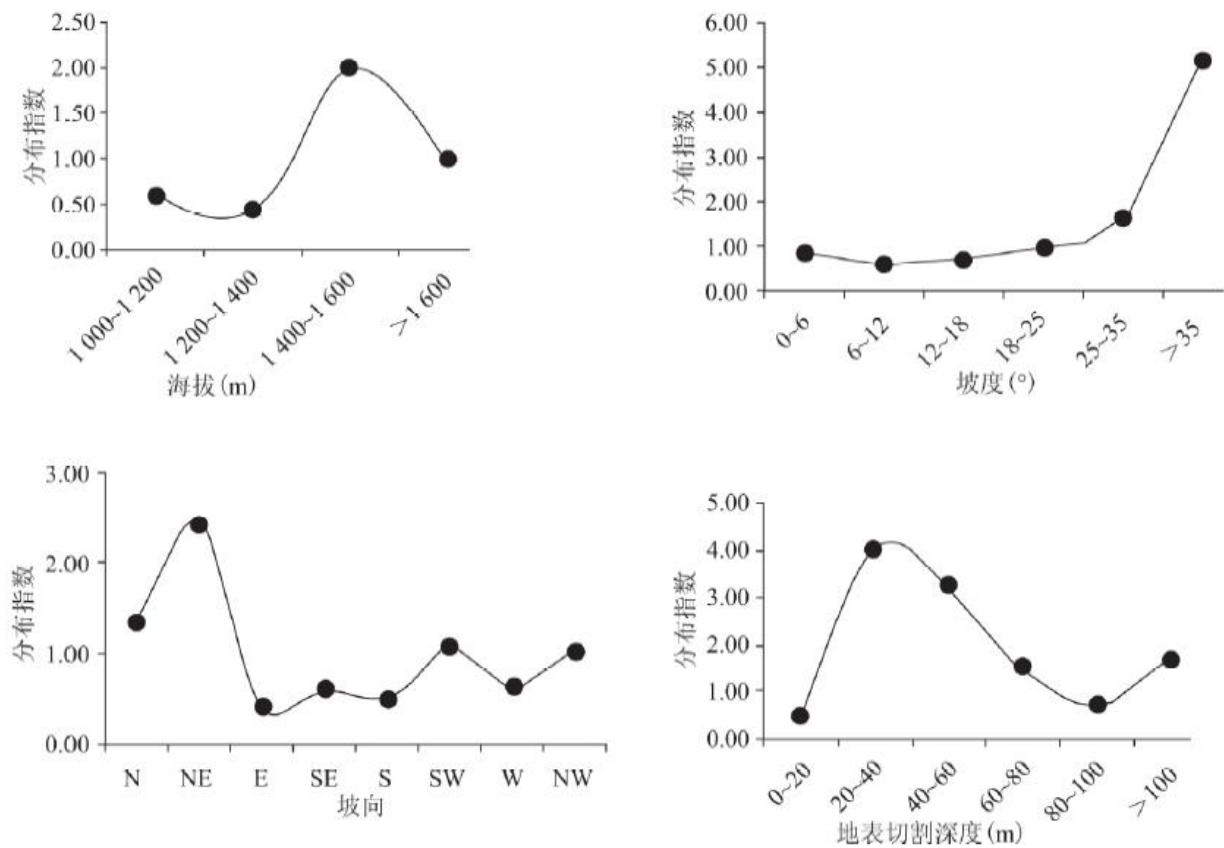


图 11 植被覆盖地形因子分布指数

Fig. 11 Values of distribution index of vegetation cover in the landform factors

(1)在高程上,分布指数在数值上呈现出随高程的增加先略微减小后急速增大而后又变小的情况。在高程为1200~1400m时为最小,其值为0.43,植被出现频率较小,而后分布指数随高程的增加而一直增大,在1400~1600m之间,分布指数达到最大值,为2.02,为植被覆盖的优势地形部位,其次是>1600m高程上为0.98,这一规律与2.2.1基本吻合。

(2)在坡度上,分布指数曲线先呈现出随着坡度的增大而平缓增大的趋势,在25°~35°后急速增大。在0°~12°两个区间上分布指数的值均较小,分别为0.87、0.59,当坡度大于25°时植被覆盖的分布指数皆大于1。经实地调研考察,研究区耕地分布在坡度小于25°的地区并大部分集中分布在0°~12°的地带上,基本上与高程低于1400m的地带相一致,这些地区属于喀斯特地貌中的槽谷地带,农业用地、公共建筑设施用地面积大,固植被覆盖面积较低,植被在此坡度地带出现的频率较小。坡度大于25°的地形梯度上,人类干预较少,又由于研究区近几年的退耕还林和封山育林政策的实施,所以此地形位为植被覆盖面积较大,等级较高的优势地形位。

(3)在坡向上,分布指数曲线波动较大,县域尺度区域较小,各坡向水热相差较小,但人类活动干扰较大,在偏西坡、偏北坡的分布指数较大,其中东北坡向为2.4,北坡向为1.36,西南坡向为1.08,这3个坡向的分布指数均大于1,由于研究区内这3个坡向海拔较高,人类生产条件较差,适宜发展林业,森林覆盖面积较大,所以为植被覆盖优势地形位。而南坡向、东坡分布指数较小,南坡、东坡向地形位上,水热配合较好,同时该处有河流分布,地势较低平,人类活动频繁且集中,相对应植

被覆盖度较低，固分布指数较小。

(4)在地表切割深度上，指数曲线在 0~40m 区间上呈递增趋势，随后随切割深度增大而降低趋势，其最大值分布在 20~40m 范围内为 4.05，在此地形位上植被覆盖度最好为其优势地形位。

2.3 地形因子对植被覆盖度的综合影响分析

将植被覆盖分级、高程、坡向、坡度和地表切割深度图层同时叠置为综合图层，结合植被覆盖度在各地形位上的分布指数的计算结果，利用 ArcGIS10.2 软件的空间统计分析功能，从数理统计的角度来分析典型喀斯特地貌区植被覆盖与地形因子的空间关系可以得到以下结果：

(1)在海拔高度上，海拔高度对植被的分布影响较大。在高程为 1000~1200m 地形部位上植被覆盖较差，在 1400~1600m 之间，植被覆盖较好，中高覆盖度面积达到了本区最大值，土地利用类型图中在这一高程范围上林地、灌林地分布面积大，所以在这一高程上中高植被覆盖分布面积大，为其优势地形位。而海拔高度大于 1600m 地形部位上，由于海拔较高，水热土条件较差，出现大量裸地或低植被覆盖度，所以此高度不利于植被的分布，在今后的生态恢复过程中需充分考虑人为因素的作用，尤其注意低海拔地区的植被恢复保护，同时加强巩固保护植被覆盖分布的优势地形区的植被。

(2)在坡度上，植被覆盖度呈现出随着坡度的增大而增大的趋势。坡度越大反而植被覆盖越高，有悖于植被生长规律，但结合土地利用类型图和经实地调研考察，研究区耕地分布随着坡度的增大逐渐减少即随着坡度的增加人类的活动强度减弱，对自然环境的干预破坏较少，所以坡度越大植被反而生长得相对更好，植被覆盖面积相对越大，同时也体现出研究区人类活动的干预对植被覆盖具有显著的影响。

(3)在坡向上，植被覆盖度在各坡向的分布波动较大，县域尺度区域较小，各坡向水热相差较小，但主要受人类活动影响较大，总体上在偏西坡、偏北坡的分布植被覆盖分布面积较大，其中东北坡向最大，其次是北坡向、西南坡向、西北坡，这四个坡向的植被覆盖度较高、分布面积较大。在土地利用类型图上，这 4 个坡向上，土地利用类型以林地、草地利用类型为主，由于这 4 个坡向海拔较高，农业生产条件较差，适宜发展林业，森林覆盖面积较大，所以为中高植被覆盖的优势地形位。而南坡植被覆盖最差，南坡向地形位上，属于向阳坡，热量充足，并且该处有河流分布，地形平坦，以农业用地、交通建设用地和水域为主，土地利用方式多样化，人类活动频繁且集中，但林业用地极少，多为农作物分布增加植被覆盖，在此坡向植被覆盖度较差。

(4)在地表切割深度上，植被覆盖度随切割深度的增大而先增大后减小，其最大值分布在 20~40m 上，随后随着切割深度的增大迅速减少到接近零，由于流水的侵蚀切割作用，地表多发于裂隙、漏斗等喀斯特地貌，形成地表地下的二元结构，地表沟壑纵横，支离破碎，地表水严重缺乏，土地难以利用，也不利于植被生长。

3 讨论

本文以贵州普定典型喀斯特地区为研究区，综合运用遥感和 GIS 技术，计算 NDVI 植被指数和反演基于 NDVI 的像元二分模型的植被覆盖度，借助空间叠加分析，研究了区内植被覆盖度分别随地形因子变化的规律，再利用普定县土地利用现状图与植被覆盖分布图和各地形因子叠加综合并结合分布指数分析了地形因子与植被覆盖分布的格局。

从研究结果看，喀斯特地区植被覆盖度与地形因子具有显著的相关性，但本区碳酸盐岩出露面积占全县国土面积的 79.2%，非喀斯特地区占 20.8%，由于通过 1:1 万地质图和土地利用类型图的叠加统计分析，本区非喀斯特分布地区以水域、耕地和建筑用地为主，所以对本区的植被覆盖与地形因子空间关系的研究主要是针对喀斯特地貌区，同时也具有代表性。

利用植被指数像元二分模型可以较好的反应大范围植被覆盖度的变化情况，但是，基于植被指数的像元分解模型也会受到某些因素的影响，比如遥感影像的分辨率、植被类型、方向覆盖度等，这些因素都会使影像具体像元值与实测值之间产生一定的误差。因此，提高植被指数转换法的估算精度也成为该方法广泛应用中值得探讨的问题。对于普定这种喀斯特山区来说，如果能运用多角度、多时相、多波段、高分辨率的卫星影像来研究喀斯特生态环境的变化，这将对本区的生态环境治理提供更有利的技术支撑。

本研究采用了 30m 分辨率的 DEM 数据和 Landsat8 遥感数据，通过影像中的最大值和最小值来代替像元二分模型中的两个数 Sveg 和 Ssoil，进一步消除大气、土壤背景、植被类型和季节变化等的影响，有利于分析研究区的植被覆盖度及其景观格局。但是两种数据的空间分辨率为 30m，DEM 数据对于较破碎的喀斯特地貌的地形因子的识别提取有点粗糙，Landsat8 数据对小斑块植被和重点植被覆盖难以识别，这是本文的数据本身的限制，同时植被覆盖度还受到自然和人为多种因素影响，对此有待深入研究。

4 结论

(1) 贵州普定县内地表植被覆盖情况近几年恢复效果明显，无植被覆盖的裸地面积占总面积的 8.76%，二、三级植被覆盖度占 47.87%，中高度植被覆盖占 43.32%，区内耕地面积大，地表植被覆盖分布以农作物为主，天然植被较少，且多为后天人工培育林，无天然原始林，其中大片土地裸露，石漠化严重。

(2) 本研究选取的普定县为西南喀斯特地貌区的典型地带，通过结合多地形因子分析，得到中高度植被覆盖的分布特征和规律。在分布特征上，海拔高度 1400~1600m 的地形部位上，坡度大于 35° 的地区，东北坡、北坡、西南坡、西北坡的地区，地表切割深度 30~40m 上的地区为植被覆盖分布的优势地形位。在分布规律上，总体上中高度植被覆盖分布的规模随高程、坡度、坡向和地表切割深度值的增大有增大的趋势，但也具有较大的波动，结合本区土地利用类型图的佐证和实地调研，植被覆盖度的分布与地形因子的空间关系具有较大的不确定性，体现了人为因素对植被发育具有较大的影响，而地形因素通过影响会限制人类活动，而间接影响或有利于植被的生长。

(3) 在研究区内，特别是向阳坡向的植被覆盖度较低，大部分面积为无植被或低度植被覆盖，中高度以上植被覆盖面积仅为 14.04%；在低海拔地区，植被覆盖度很低，大面岩石裸露，高程小于 1200m 的区域中，裸地和低度植被覆盖分布面积占到 13.97%，在向阳坡向上和低海拔地区的水热条件配合较好，适合植被的生长发育，植被覆盖情况应该较好，但在这些地形部位上人类活动频繁，自然环境长期受人类活动的影响导致本来具有特殊岩性(喀斯特)的普定县植被破坏严重，致使本区生态环境变得更加脆弱和敏感，加大了生态环境恢复治理的难度，也充分体现人为活动对其的影响作用较大，地形因素通过影响会限制人类活动，而间接影响或有利于植被的生长。所以本区在今后的生态环境修复、恢复、建设和保护的过程中尤其要注重协调好研究区的人地关系，同时加大力度对这些地形区上的植被的科学培育、保护，并调整农业结构、发展生态农业和贯彻实行退耕还林还草政策，来恢复、改善和提高本区的生态环境，推进本区的可持续发展。

参考文献:

[1] 程圣东, 李占斌, 鲁克新, 等. 文安驿流域植被覆盖度时空分异及其与地貌因子关系研究 [J]. 西安理工大学学报, 2011(02): 145-150.

CHENG S D, LI Z B, LU K X, LI P, ZHANG P, LI H. Spatio-temporal variations in vegetation coverage and correlation with geomorphologic factors in Wenanyi watershed [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2011(02): 145-150.

[2] 蔡宏, 何政伟, 安艳玲, 等. 基于 RS 和 GIS 的赤水河流域植被覆盖度与各地形因子的相关强度研究 [J]. 地球与环境, 2014(04) : 518—524.

CAI H, HE W Z, AN Y L, DENG H. Corrtation intensity of vegetation coverage and topographic favtors in Chishui Watershed based on RS and Gis [J]. Earth and environment, 2014(04) : 518—524.

[3] 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(04) : 543—549.

KONG L L, ZENG H, LI S J. Study on the topographic variation pattern of vegetation distribution in Wolong Nature Reserve, Sichuan Province [J]. Journal of Peking University(natural science edition), 2002(04) : 543—549.

[4] 张晖, 王晓峰, 余正军. 基于 ArcGIS 的坡面复杂度因子提取与分析——以黄土高原为例 [J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2009(02) : 323—326.

ZHANG H, WANG X F, YU Z J. Slope surface complexity factor extract and analysis based on ArcGIS [J]. Journal of Huazhong Normal University (natural science edition), 2009(02) : 323—326.

[5] 张宏, 温永宁, 刘爱利, 等. 地理信息系统算法基础 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.

ZHANG H, WEN Y N, LIY A L, et al. Geo-information system [M]. BeiJing: Science Press, 2006.

[6] 焦贝贝, 石培基, 刘春芳, 等. 黄土高原低山丘陵区农村居民点分布与地形因子关系研究——以兰州市七里河区为例 [J]. 资源科学, 2013(08) : 1719—1727.

JIAO B B, SHI P J, LIU C F, et al. The distribution of rural settlements in relation to land form factors in low hilly land on the Loess Plateau [J]. Resource Science, 2013(08) : 1719—1727.

[7] 中华人民共和国水利部. GB-T15772-1995 水土保持综合治理规划通则 [S] 北京: 中国标准出版社, 1995.

Ministry of Water Resources of the PRC. GB-T157721995General rules for comprehensive control of soil and water conservation [S] BeiJing: Standards Press of China, 1995.

[8] 贾兴利, 许金良, 杨宏志, 等. 基于 GIS 的地表破碎指数计算 [J]. 重庆大学学报, 2012(11) : 126—130.

JIA X L, XU J L, YANG H Z, et al. Calculation of broken index of surface based on GIS [J]. Journal of Chongqing University, 2012(11) : 126—130.

[9] 陈晓玲, 赵红梅, 田礼乔. 环境遥感模型与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.

CHEN X L, ZHAO H M, TIAN L Q. Remote sensing of environment:modles and applications [M]. BeiJing: SciencePress, 2008.

-
- [10] 程红芳, 章文波, 陈锋. 植被覆盖度遥感估算方法研究进展 [J]. 国土资源遥感, 2008(01) : 13—18.
- CHENG H F, ZHANG W B, CHEN F. Advances in researches on application of remote sensing method to estimating vegetation coverage [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2008(01) : 13—18.
- [11] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 387—398.
- ZHAO Y S. Principles and methods of remote sensing application analysis [M]. Beijing: Science Press, 2003: 387—398.
- [12] 王妍. 基于DEM的地形信息提取与景观空间格局分析 [D]. 西南大学, 2006.
- WANG Y. Land form information obtains and landscape spatial pattern analyses based on DEM [D]. South western University, 2006.
- [13] SL 190—2007, 土壤侵蚀分级分类标准.
- [14] 夏北成, 龚建周. 广州市植被覆盖度等级结构及其时空格局特征 [J]. 生态科学, 2006(05) : 417—422.
- XIA B C, GONG J Z. Spatio-temporal pattern and hierarchical characteristics of vegetation fraction from 1990 to 2005 in Guangzhou [J]. Ecological Science, 2006(05) : 417—422.
- [15] 张号, 屈建军, 张克存. 绿洲植被覆盖度遥感信息提取——以敦煌绿洲为例 [J]. 中国沙漠, 2015(02) : 493—498.
- ZHANG H, QU J J, ZHANG K C. Vegetation cover information extraction technology for dunhuang oasis based on remote sensing images [J]. Journal of Desert Research, 2015 (02) : 493—498.
- [16] 李云强, 齐伟, 王丹, 等. GIS支持下山区县域农村居民点分布特征研究——以栖霞市为例 [J]. 地理与地理信息科学, 2011(03) : 73—77.
- LI Y Q, QI W, WANG D, et al. Research on spatial distribution characteristics of rural settlements in mountainous areas at county level based on GIS: a case study in Qixia City [J]. Geography and Geo-Information Science, 2011(03) : 73—77.
- [17] 斯钧浪, 齐伟, 曲衍波, 等. 胶东山区县域土地利用在地形梯度上的分布特征 [J]. 应用生态学报, 2009(03) : 679—685.
- SHI J L, QI W, QU Y B, et al. Distribution characteristics of land use pattern on terrain gradient in Jiaodong mountainous areas at county level. [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009(03) : 679—685.
- [18] 李阳兵, 罗光杰, 白晓永, 等. 典型峰丛洼地耕地、聚落及其与喀斯特石漠化的相互关系——案例研究 [J]. 生态学报, 2014(09) : 2195—2207.

LI Y B, LUO G J, BAI X Y, et al. The correlations among arable land, settlement and karst rocky desertification——cases study based on typical peak-cluster depression [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014(09) : 2195—2207.

[19] 王莉雯, 卫亚星, 牛铮. 基于遥感的青海省植被覆盖时空变化定量分析 [J]. *环境科学*, 2008(06) : 1754—1760.

WANG L W, WEI Y X, LIU Z. Analysis of vegetation spatial and temporal variations in Qinghai Province based on remote sensing. [J]. *Environmental Science*, 2008 (06) : 1754 —1760.

[20] OSTENDEORF B, REYNOLDS J F. Mechanism of rocky desertification derived from topographic gradients [J]. *Landscape Ecology*, 1998, 7(13) : 187—201.

[21] 黄德青, 于兰, 张耀生, 等. 祁连山北坡天然草地上生物量及其与土壤水分关系的比较研究 [J]. *草业学报*, 2011, 03: 20—27.

HUANG D Q, YU L, ZHANG Y S, et al. Above ground biomass and its relationship to soil moisture of Natural Grassland in the Northern Slopes of the Qilian Mountains [J]. *Acta Agrectir Sinica*, 2011, 03: 20—27.