

基于 GIS 的黄土高原小流域植被格局与地形关系研究 ——以固原上黄试区为例

方 炫^{1,2}, 李壁成¹, 白小梅^{1,2}, 陈其春³

(1. 中国科学院 教育部 水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 安徽理工大学 测绘与空间信息工程系, 安徽 淮南 232001)

摘 要: 以黄土高原上黄试区小流域为例, 应用 GIS 空间分析技术和环境梯度分析方法, 选取海拔、坡度、坡向、地形位 4 个地形因子, 将植被景观分布图与各地形因子梯度图叠合, 采用无量纲分布指数定量分析植被景观在各地形因子梯度上的分布特征, 研究植被格局与地形之间的关系, 为上黄试区的植被保护与恢复、生态管理与建设提供科学依据。结果表明: (1) 上黄试区植被格局与地形之间关系密切, 海拔对植被格局的影响最大, 相关系数为 -0.51; 地形位和坡度次之, 相关系数为 -0.18 和 -0.13; 坡向的作用最小, 相关系数为 -0.02。 (2) 植被景观在地形梯度上的分布格局呈现一定规律性, 灌丛类主要在高海拔 (1 678~1 822 m)、中等坡度 (8°~25°) 区间分布; 天然草地主要在中等偏低海拔 (1 582~1 678 m)、中等偏陡 (15°~35°) 区间分布; 人工草地主要在中等偏高海拔 (1 630~1 774 m)、陡坡 (>25°) 区间分布; 耕地和果园则主要在低海拔 (<1 630 m)、平缓坡 (0°~8°) 区间分布。

关键词: 植被格局; 地形; 分布指数; 上黄试区

中图分类号: P901; X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0092-04

Study on the Relationship between Vegetation Pattern and Terrain in a Small Watershed on the Loess Plateau ——Take Shanghuang Test Area in Guyuan as An Example

FANG Xuan^{1,2}, LI Bi-cheng¹, BAI Xiao-mei^{1,2}, CHEN Qi-chun³

(1. Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China, 3. Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China)

Abstract: The relationship between the spatial pattern of vegetation in a small watershed on the Loess Plateau and terrain was studied based on the geographic information system (GIS) and environment gradient analysis. Altitude, slope, aspect, and terrain niche four terrain factors were chosen, the vegetation distribution map and the gradient map of each terrain factor was superposed, and the distribution index was used to analysis the inter spatial relationships between vegetation distribution and each terrain factor. This study showed the main terrain factor on vegetation pattern and the dominance degree of different vegetation on each terrain gradient. Altitude was the main terrain factor on vegetation pattern. Bushes distribute mainly in the areas with high altitude and middling slope, crude grassland distributes mainly in the areas with the altitude lower than middling level and the slope more cliffy than middling level, artificial grassland distribute mainly in the areas with the altitude higher than middling level and the slope more gentle than middling level, arable land and orchard distributes mainly in the areas with low altitude and gentle slope. This study could offer scientific evidence for vegetation restoration and eco-environment management.

Key words: vegetation pattern; terrain; distribution index; Shanghuang test area

收稿日期: 2010-06-19

资助项目: “十一五” 国家科技支撑计划重大项目 (2006BCA01A07-2)。

作者简介: 方炫 (1982-), 女, 江苏沭阳人, 博士生, 研究方向为土地利用及 3S 技术应用。E-mail: fxnhr@yahoo.com.cn

通信作者: 李壁成 (1945-), 男, 陕西石泉人, 研究员, 博士生导师, 主要从事水土保持、小流域遥感监测与管理及土地景观生态方面的研究工作。E-mail: bcli@ms.iswc.ac.cn

植被格局是影响生态系统结构与功能的重要因素, 其形成和变化与所处的地理环境及人类干扰密切相关, 目前已成为植被生态学研究热点问题^[1]。在山地植被生态学中, 地形是决定植被生境要素(如小气候、水文、土壤等)的主导因子^[2], 影响着植被的组成及其空间分布与配置格局。通过地形差异来研究植被空间分布规律, 已成为揭示植被与地形因子之间关系的重要途径^[3-4]。

黄土高原是我国乃至全球水土流失最为严重、生态环境最为脆弱的地区之一, 是我国植被恢复的重点区域^[5]。作为黄土高原长期以来植被恢复和水土流失治理的基本单元, 小流域具有相对独立和完整的地形地貌特征, 因此从小流域尺度着手研究植被空间格局与地形的关系, 对黄土丘陵区植被恢复与生态环境建设具有重要的理论与实践意义。

以位于黄土高原宁南山区宁夏固原市的上黄小流域为例, 以植被景观空间分布数据和数字高程模型(DEM)为基础, 利用地理信息系统空间分析方法, 分析植被景观在地形梯度上的分布特征, 揭示植被空间格局与地形因子之间关系, 以期为上黄试区的植被保护与恢复、生态管理与建设提供科学依据。

1 研究区概况

上黄试区位于宁夏南部固原市河川乡内(东经 $106^{\circ}26' - 106^{\circ}30'$, 北纬 $35^{\circ}59' - 36^{\circ}02'$), 年平均降水 419.1 mm, 属暖温带半干旱区。地貌上属于黄土高原西部宽谷丘陵沟壑区, 海拔 1 534~1 822 m, 总面积约 8.01 km²。地带性植被为典型草原区, 试区植被主要由灌丛、草地和农用地组成。灌丛主要物种为柠条、山桃、山杏和沙柳, 草地物种主要有宾草、长芒草、地椒、芨芨、铁杆蒿、猪毛蒿和苜蓿等。

2 研究数据与方法

2.1 数据获取

研究采用的基础数据包括上黄试区 1:1 万数字高程模型(DEM)和 1:1 万植被图。该植被图经过选点、普查、核查后, 以 2005 年试区土地利用图、2008 年河川乡 SPOT5 影像为参考在 ArcView 下数字化而成。从景观尺度角度将研究区植被归并为单纯灌丛、混交灌丛、天然草地、人工草地、耕地和果园 6 类, 形成植被景观分类图, 并将植被景观分类图和数字高程模型都转为 Grid 格式并统一投影和栅格大小(5 m × 5 m)。

2.2 研究方法

2.2.1 地形因子图提取 选取海拔、坡度、坡向、地

形位 4 个地形因子来分析植被空间分布与地形的关系。坡度和坡向图由 DEM 在 ArcView 软件空间分析模块直接生成。地形位是将海拔和坡度综合而成的一个地形因子, 能够体现地形对类型空间格局分布特征的综合影响^[6]。该指数提取在 ArcGIS 软件下利用地理信息建模完成, 模型公式如下:

$$T = \lg[(\frac{E}{\bar{E}} + 1) \times (\frac{S}{\bar{S}} + 1)]$$

式中: T ——地形位; E, \bar{E} ——代表空间任一点的海拔值和该点所在区域内的平均海拔值; S, \bar{S} ——代表空间任一点的坡度值和该点所在区域内的平均坡度值。海拔低、坡度小的地域地形位小, 海拔高、坡度大的地域地形位大。

2.2.2 地形因子梯度图生成 根据上黄试区实际情况和研究经验, 将试区地形因子分级如下: 将海拔由低到高划分为 < 1 582 m、1 582~1 630 m、1 630~1 678 m、1 678~1 726 m、1 726~1 774 m、> 1 774 m 共 6 个区间; 坡度划分为 $0^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 、 $3^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 、 $8^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 、 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 、 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、> 35° 共 6 个区间; 坡向分为无坡向、阳坡(南、西南)、半阳坡(东、东南)、半阴坡(东、东南)、阴坡(北、西北); 地形位按数值由低到高等分为 10 个区间。利用 ArcView 空间分析重分类功能生成地形因子梯度图。

2.2.3 地形分布指数构建 由于不同植被类型在地形梯度上不同区间的出现分布频率可比性受到各类植被面积带来的量纲影响, 本文采用标准化、无量纲的地形分布指数^[6], 进行地形梯度上不同区间或不同类型间的比较, 公式如下:

$$P = (S_e / S_i) / (S_e / S)$$

式中: P ——地形分布指数; S_e —— e 地形区间上第 i 种植被景观的面积; S_i ——整个研究区内第 i 种植被景观的总面积; S_e ——整个工作区内 e 地形区间的总面积; S ——整个研究区域的面积。 P 值越大, 表明某植被景观出现的频率越高, $P > 1$ 的区间为植被景观分布的优势地形区间。此外, 分布指数曲线越平缓, 表明某植被景观分布与标准分布的偏离越小, 其对地形差异的适宜性越大; 反之, 表明某植被景观对地形具有较强的选择性, 在其优势地形位上该组分发育较多^[7]。地形分布指数构建方法如下: 在 ArcView 下将植被景观分类图分别与海拔、坡度、坡向、地形位 4 个地形因子梯度图叠合, 统计出不同植被景观在各地形梯度上不同区间的分布比例, 然后利用分布指数公式计算出相应的分布指数(P), 绘制分布指数曲线图, 进而分析植被景观空间格局的地形梯度分异规律。

3 结果与分析

3.1 植被景观在地形梯度上的分布特征

图 1 给出了在海拔、坡度、坡向、地形位四个地形梯度上各区间的分布指数, 它可以分析以下三个方面内容: (1) 通过对同一地形区间内的不同植被类型分布指数大小进行比较, 可以得出该地形区间下的优势植被景观; (2) 通过各植被景观在地形梯度上分布指数变化趋势, 可以提取优势地形区间(结果见表 1), 分析各植被随地形变异的分布特征; (3) 总观特定地形梯度上不同植被景观分布指数曲线的起伏状况, 可以判断它们受地形因子影响的大小。

3.1.1 植被景观在海拔梯度上的分布特征 不同海拔高度水热条件不同, 植被景观分布受到影响。在海拔梯度上, < 1 582 m 区间耕地优势分布; 1 582~ 1 630 m 区间果园、天然草地、耕地优势分布; 1 630~ 1 678 m 区间优势植被有耕地、人工草地、天然草地; 1 678~ 1 774 m 区间优势植被有混交灌丛、单纯灌丛和人工草地; 1 774~ 1 822 m 范围优势植被为单纯灌

丛和混交灌丛。

不同植被景观随海拔变化的分布特征为, 单纯灌丛分布指数随着海拔的升高而增加, 在 1 678~ 1 822 m 优势分布; 耕地分布指数变化趋势相反, 随海拔升高而下降, 在 1 534~ 1 678 m 优势分布; 其他植被类型的分布指数都是先增加后下降, 在中间段出现峰值。混交灌丛和天然草地的分布指数峰值分别出现在 1 726~ 1 744 m 和 1 582~ 1 630 m。人工草地的分布指数峰值不明显, 优势分布区间为 1 630~ 1 744 m。果园除了在 1 678~ 1 726 m 范围略有分布外, 都集中分布在 1 582~ 1 630 m。总体看来, 耕地、果园和天然草地选择较低海拔分布, 灌丛类分布海拔较高, 人工草地居中。

在海拔梯度上各类植被分布指数的变化程度大小表现为, 果园> 耕地> 天然草地> 混交灌丛> 单纯灌丛> 人工草地。这说明人工草地受海拔影响最小, 对海拔变化的适宜性最强; 相反, 耕地和果园, 尤其是果园在其优势海拔区间内集中分布, 受海拔影响很大。其他植被分布受海拔影响的程度居中。

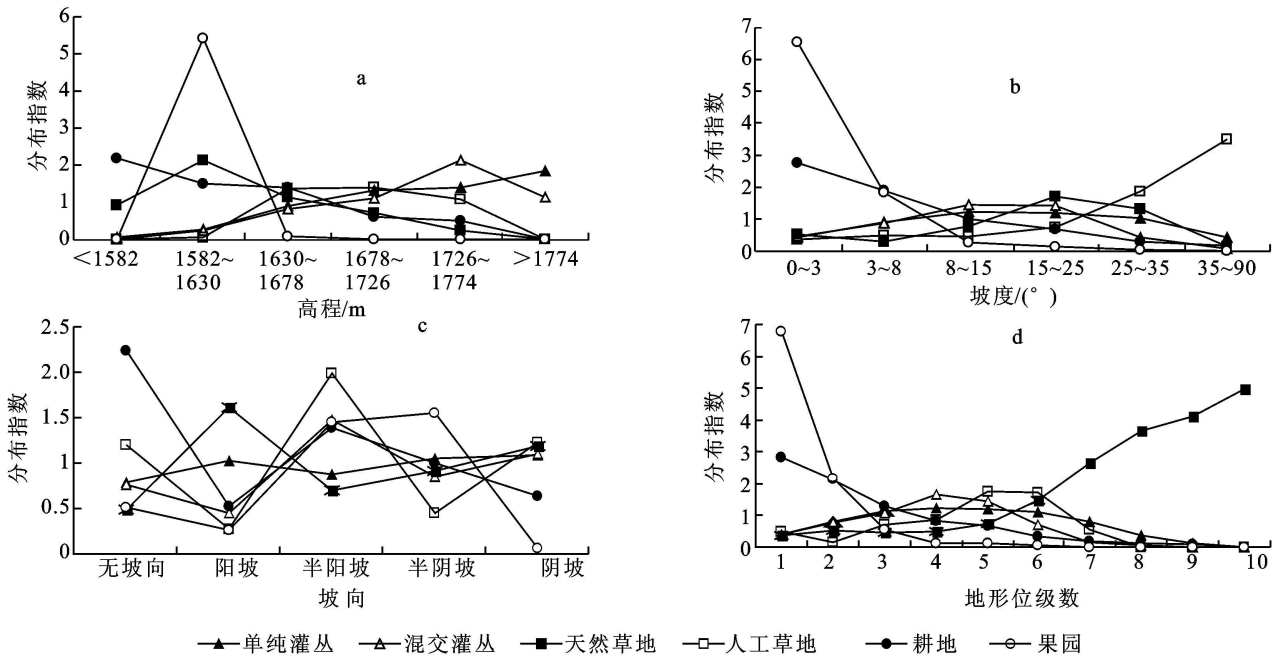


图 1 不同植被类型在海拔(a)、坡度(b)、坡向(c)、地形位上(d)的分布指数图

3.1.2 植被景观在坡度梯度上的分布特征 不同坡度上土壤与水分流失量不同, 往往表现为坡度越大、土层越薄、水分和土壤养分流失越严重, 从而影响植被景观的分布格局。在坡度梯度上, 0~ 8°都是以耕地和果园为优势, 8°~ 15°带内以单纯灌丛和混交灌丛为优势, 15°~ 25°带内优势植被有天然草地、混交灌丛和单纯灌丛, 25°~ 35°以人工草地和天然草地为优势, > 35°以人工草地为优势。

且都在 0~ 8°, 尤其是 0~ 3°的平坡区间内优势分布; 人工草地分布指数随坡度增加而增大, 在> 25°范围尤其是 35°以上的陡坡优势分布; 灌丛类分布指数都呈先增加后减小的趋势, 峰值都不明显, 优势分布区间都在中等坡度为 8°~ 25°; 天然草地随坡度变化呈先减小后增大再减小趋势, 优势分布于较陡区间 15°~ 35°。

随着坡度的变化, 果园分布指数变化最大, 在优势区间内集中分布, 表明对坡度的选择性最强、适宜

性最差; 其余表现为人工草地> 耕地> 天然草地> 混交灌丛> 单纯灌丛。

3.1.3 植被景观在坡向梯度上的分布特征 不同坡向由于接收太阳辐射的时间和强度不同, 地表温度、气温变幅、水分蒸发状况不同, 因而植被分布状况有所不同。各坡向内不同植被分布指数的大小显示, 无坡向区间优势植被为耕地和人工草地; 阳坡优势植被为天然草地; 半阳坡优势植被为耕地、果园、混交灌丛、人工草地; 半阴坡是以单纯灌丛、耕地、果园为优势; 阴坡是以人工草地、天然草地、混交灌丛、单纯灌丛为优势。

植被随坡向的变化趋势表现为分布指数都在 1 上下波动。其中, 耕地和果园的变化趋势相似, 都呈先下降后增加再下降分布, 耕地在无坡向和半阳坡上优势分布, 果园在半阳坡和半阴坡上呈优势分布。天然草地和单纯灌丛随坡向变化趋势为先增加后减少再增加, 在阳坡优势分布, 阴坡次之。人工草地和混交灌丛随坡向变化的分布指数曲线都表现为凹- 凸- 凹分布, 前者优势区间在无坡向、半阳坡和阴坡, 后者优势区间在半阳坡和半阴坡。

不同植被景观在坡向上分布指数图的陡缓程度显示, 单纯灌丛的分布指数变化最不明显, 这说明在

各坡向上分布均匀, 对坡向的适宜性很强, 其余植被分布对坡向具有一定的选择性, 但分布指数的变化程度差别不大。

3.1.4 植被景观在地形位梯度上的分布特征 植被景观在地形位上的分布格局表现为高、中和低 3 段式空间分布结构。低段区域优势植被景观为果园和耕地; 中段区域优势植被景观为混交灌丛、单纯灌丛和人工草地; 高段区域优势植被景观为天然草地。

耕地和果园的分布指数随着地形位的升高而减小, 优势地形位区间分别是 1~ 2 和 1~ 3; 天然草地的分布指数随着地形位的升高而不断增加, 优势地形位区间为 6~ 10。单纯灌丛和混交灌丛都呈先增加后减少趋势, 优势地形位区间分别是 3~ 6 和 3~ 5。人工草地的分布指数变化趋势是先减小后增加再减小, 优势地形位区间为 5~ 6。

6 类植被景观中, 果园、天然草地、耕地在地形位梯度上的分布指数值变化较大, 这说明对地形位具有很强的选择性; 而人工草地和灌丛类地形位分布指数曲线较为平缓, 受到地形位影响较小。植被在地形位上的分布特征与随坡度和海拔的分布特征基本吻合, 这说明在该区域地形位是能够综合反映高度和坡度对植被格局影响的指数。

表 1 不同植被类型的优势地形分布区间

植被类型	海拔/ m	坡度/ (°)	坡向	地形位
单纯灌丛	1678~ 1822	8~ 25	半阴坡、阴坡	3~ 6
混交灌丛	1678~ 1822	8~ 25	半阳坡、阴坡	3~ 5
天然草地	1582~ 1678	15~ 35	阳坡、阴坡	6~ 10
人工草地	1630~ 1774	> 25	无坡向、半阳坡、阴坡	5~ 6
耕地	1534~ 1678	0~ 8	无坡向、半阳坡	1~ 3
果园	1582~ 1630	0~ 8	无坡向、半阳坡、阴坡	1~ 2

3.2 植被格局与各地形因子的相关分析

通过将植被空间分布与各地形因子进行相关分析, 比较各地形因子对植被格局影响的大小, 确定影响植被格局关键的地形因子。结果表明, 植被空间分布与海拔、坡度、坡向和地形位 4 个因子的相关系数分别是- 0. 51, - 0. 13, - 0. 02, - 0. 18, 说明海拔对植被景观分布的影响最显著, 地形位和坡度对植被格局的影响次之, 而坡向对植被格局的影响最小。

4 结 论

运用 GIS 空间分析技术, 从景观尺度上分析了黄土高原上黄试区小流域植被空间分布格局与海拔、坡度、坡向和地形位 4 个地形因子的关系, 主要结论如下:

(1) 上黄试区植被景观分布格局与地形是密切相关的, 最主要的地形因子是海拔, 其次是地形位和坡度, 而受坡向的影响较小。

(2) 研究结果采用无量纲的分布指数, 清楚地反映了区内各植被景观植被与地形梯度的分布规律, 定量描述了上黄试区小流域准确提取了各植被景观的优势分布区间。总体来讲, 灌丛类选择高海拔、中等坡度分布; 天然草地选择中等偏低海拔、中等偏陡坡度分布; 人工草地选择中等偏高海拔、陡坡分布; 耕地和果园都选择在低海拔、平缓坡分布, 前者优势海拔更低。

(3) 本研究在分析传统地形因子(海拔、坡度、坡向) 基础上, 补充地形位这一综合地形因子, 研究结果证明了在该区域地形位是能够综合反映高度和坡度对植被格局影响的指数。

致谢: 本文采用的植被图在调查的过程中得到了中科院水土保持和生态环境研究中心侯庆春研究员的指导, 在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 刘世荣, 温远光, 王兵, 等. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996: 1-5.
- [2] 张彪, 李文华, 谢高地, 等. 森林生态系统的水源涵养功能及其计量方法[J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 529-534.
- [3] Nunñez D, Nahuelhual L, Oyarzun C. Forests and water: The value of native forests in supplying water for human consumption[J]. Ecological Economics, 2006, 5: 606-616.
- [4] Andreassian V. Water and forests: From historical controversy to scientific debate[J]. Journal of Hydrology, 2004, 291: 1-27.
- [5] Farley K, Jobbagy E, Jackson P. Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy[J]. Global Change Biology, 2005, 11: 1565-1567.
- [6] 宋子刚. 森林生态水文功能与林业发展决策[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4): 101-107.
- [7] 秦伯强, 吴庆农, 高俊峰, 等. 太湖地区的水资源与水环境: 问题、原因与管理[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 221-228.
- [8] 黄智华, 薛滨, 逢勇. 太湖水环境演变与流域经济发展关系及趋势[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(5): 627-631.
- [9] 刘庄, 郑刚, 张永春, 等. 社会经济活动对太湖流域的生态影响分析[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(1): 27-31.
- [10] 蔡庆华, 吴刚, 刘建康. 流域生态学: 水生态系统多样性研究和保护的一个新途径[J]. 科技导报, 1997(5): 24-26.
- [11] 阎水玉, 王祥荣. 流域生态学与太湖流域防洪、治污及可持续发展[J]. 湖泊科学, 2001, 13(1): 1-7.
- [12] 蒋文伟, 余树全, 周国模, 等. 安吉地区不同森林植被水源涵养功能的研究[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2002, 24(5): 635-639.
- [13] 杨学军, 姜志林. 苏南丘陵区主要森林类型地被层水源涵养功能研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(3): 28-31.
- [14] 林海礼, 宋绪忠, 钱立军, 等. 千岛湖地区不同森林类型枯落物水文功能研究[J]. 浙江林业科技, 2008, 28(1): 70-74.
- [15] 周重光, 沈辛作, 于建国, 等. 浙江山地森林枯落物层的生态水文效应[J]. 浙江林业科技, 1989, 9(5): 1-8.
- [16] 刘为华, 张桂莲, 徐飞, 等. 上海城市森林土壤理化性质[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(2): 155-163.
- [17] 周重光, 柴锡周, 沈辛作, 等. 天目山森林土壤的水文生态效应[J]. 林业科学研究, 1990, 3(3): 215-221.
- [18] 黄进, 杨会, 张金池. 桐庐生态公益林主要林分类型的土壤水文效应[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 1094-1099.
- [19] 玉冬米. 森林土壤透水蓄水性能的研究[J]. 林业科技开发, 2000, 14(4): 10-12.
- [20] 谢红彬, 虞孝感, 张运林. 太湖流域水环境演变与人类活动耦合关系[J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(5): 393-400.
- [21] Putuhena W M, Cordery I. Estimation of interception capacity of the forest floor[J]. Journal of Hydrology, 1996, 180: 283-299.
- [22] 余新晓, 张志强, 陈丽华, 等. 森林生态水文[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 32-35.
- [22] 温远光, 刘世荣. 我国主要森林生态系统类型降水截留规律的数量分析[J]. 林业科学, 1995, 31(4): 289-298.
- [23] 孙艳红, 张洪江, 程金花, 等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 106-109.
- [24] 何东宁, 王占林, 张洪勋. 青海乐都地区森林涵养水源效能研究[J]. 植物生态学报与地植物学学报, 1991, 15(1): 71-78.
- [25] Dunne T, Zhang W, Aubry B F. Effects of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff[J]. Water Resources Research, 1991, 27(9): 2271-2285.
- [26] 杨学军, 姜志林. 溧阳地区森林景观的生物多样性评价[J]. 生态学报, 2001, 21(4): 671-675.

(上接第 95 页)

参考文献:

- [1] 李崇巍, 刘丽娟, 孙鹏森, 等. 岷江上游植被格局与环境关系的研究[J]. 北京师范大学学报, 2005, 41(4): 404-409.
- [2] 沈泽吴, 张新时, 金义兴. 地形对亚热带山地类型尺度植被格局的梯度分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(4): 430-435.
- [3] 焦超卫, 赵牡丹, 汤国安, 等. 基于 GIS 的植被空间格局特征与地形因子的相关关系: 以陕西省耀县为例[J]. 水土保持通报, 2005, 25(6): 19-23.
- [4] 孟广涛, 方向京, 李宁云, 等. 云南金沙江流域典型区域森林类型空间格局特征的初步研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(6): 78-84.
- [5] 吴钦孝, 杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-15.
- [6] 喻红, 曾辉, 江子瀛. 快速城市化地区类型组分在地形梯度上的分布特征研究[J]. 地理科学, 2001, 21(1): 64-69.
- [7] 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, 20(3): 679-685.