

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2018.04.015

# 3S 技术支持下的高速公路建设对 区域景观格局的影响研究 ——以湖南省长益高速复线为例

李南方, 陈红秀, 胡菲菲, 杨 波

(湖南师范大学 资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081)

**摘 要:** 以长益高速复线为例, 基于“3S”技术对其建设前后 2 个时相进行景观格局分析, 结合景观生态学方法和景观格局分析软件 Fragstats, 从斑块和景观 2 个层次, 对比研究了高速公路建设前后景观格局的变化。研究表明: 高速公路的建设线性切割了原有景观格局, 使得景观破碎化加剧, 景观异质性增加, 高速公路的建设对沿线景观格局的影响随距离的增加而减小。

**关键词:** 3S 技术; 高速公路; 长益高速; 景观格局; 景观指数

中图分类号: X21

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2018)04-0091-06

## An Analysis on the Impact of Expressway Construction Supported by 3S Technology on Landscape Patterns: A Case Study of Changsha-Yiyang Highway in Hunan Province

LI Nanfang, CHEN Hongxiu, HU Feifei, YANG Bo

(College of Resources and Environmental Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

**Abstract:** Based on 3S technology, a study has been made of the changes of landscape patterns alongside Changsha-Yiyang double-track highway before and after its construction. By using the landscape ecology method and landscape pattern analysis software Fragstats, a comparison has been made of the changes of landscape patterns before and after the construction of the expressway from the perspectives of patches and landscape. The results show that the original landscape pattern has been cut linearly by the construction of freeway, thus aggravating the landscape fragmentation, increasing the heterogeneity of the landscape, and decreasing the impact of the expressway construction on the landscape with the increase of distance.

**Keywords:** 3S technology; expressway; Changsha-Yiyang highway; landscape pattern; landscape index

收稿日期: 2017-12-29

作者简介: 李南方 (1991-), 男 (回族), 湖南益阳人, 湖南师范大学硕士生, 主要研究方向为资源环境遥感,  
E-mail: lnf@52xjy.cn

通信作者: 杨 波 (1974-), 男, 湖南张家界人, 湖南师范大学教授, 硕士生导师, 主要从事资源环境遥感方面的教学与研究, E-mail: yb@hunnu.edu.cn

## 0 引言

近年来,随着我国城市化、城镇化和城乡一体化的快速推进,各地正在加快高速公路建设进程。高速公路的建设推动了区域经济综合发展,方便了人们出行<sup>[1-2]</sup>,但同时也对地表造成了一定的干扰。它改变了原有的土地利用类型和地貌,使植被破坏、耕地减少、生物多样性程度降低等,从而引起区域景观格局变化,对生态环境造成了永久的、不可逆转的影响<sup>[3-5]</sup>。因此景观格局和生态环境的影响评价是高速公路建设环境评价的重要内容之一<sup>[6-7]</sup>。

传统的研究方法,如资料收集和现场调查法,很难全面把握沿线整个区域的情况,并且工作量巨大,需要占用较多的人力、物力和时间。而利用3S技术,即遥感(remote sensing,RS)、地理信息系统(geography information systems, GIS)和全球定位系统(global positioning systems, GPS)的实时性、准确性、便捷性、综合性、广域性等特点<sup>[8-9]</sup>,进行环境评价和景观格局分析,越来越受到国内外学者的重视,其中部分学者已进行了相关研究<sup>[10-18]</sup>,并且取得了较好的研究成果。徐从燕等<sup>[19]</sup>利用3S技术对山东临沂化工园区的建设进行了环境评价应用尝试。田雷等<sup>[10]</sup>利用3S技术研究了云南省思小高速公路建设对区域景观格局特征的变化。

在他人研究的基础上,本文运用景观生态学思想,以Landsat 8 OLI遥感影像为主要数据源,利用ArcGIS 10.2和景观格局分析软件Fragstats 4.2,对湖南省长沙至益阳高速公路扩容工程(即长益高速复线)建设前后景观格局变化进行定量研究。

## 1 研究区域概况

G5513长张高速(长益段)建成通车运行12 a来,车流量以年均15%的速度高速增长,其通行能力远远不能满足通行需求,交通拥堵现象经常发生,已难以适应区域国民经济和社会发展的需要。因此,亟需启动G5513长沙至益阳高速公路扩容工程。长益高速公路扩容工程,路线呈东南—西北走向,位于 $112^{\circ}28' E \sim 112^{\circ}51' E$ 以及 $28^{\circ}16' N \sim 28^{\circ}31' N$ 之间;起于长沙望城区观音岩水库西,接长沙绕城高速,止于益阳市赫山区苏家坝,并在此通过互通接长益高速和益阳绕城高速;主线全长约50.3 km,路基宽度34.5 m。该工程于2016年11月3日开工建设,预计2019年年底建成通车。长益高速复线工程区位及路线图如图1~2所示。工程区域整体属于亚热带季风性湿润气候,植被类型为亚热带常绿阔叶林,沿线主

要是低山丘陵和平原地形。



图1 长益高速复线区位图

Fig. 1 Location of the Changsha-Yiyang double-tracked highway

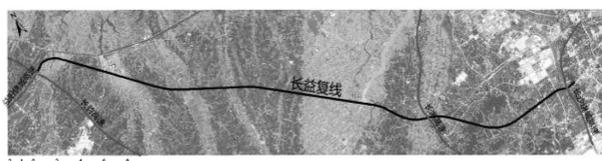


图2 长益高速复线路线图(Landsat8 321波段假彩色合成)

Fig. 2 Route map of Changsha-Yiyang double-tracked highway (Landsat8 OLI 321 RGB)

## 2 数据处理与研究方法

### 2.1 数据获取

本研究使用的遥感影像为美国陆地资源卫星Landsat 8 OLI数据,由地理空间数据云免费提供,影像获取时间为2016年7月23日,多光谱空间分辨率为30 m,全色波段为15 m,影像云层覆盖为1.2%,质量较好。其他数据有:长沙、益阳地区的1:10 000地形图和土地利用现状图,Quick Bird影像图以及拟建长益高速公路规划设计图。

### 2.2 数据处理

对遥感影像图进行大气校正、几何校正、配准、波段融合,结合GPS采样数据、野外实地考察数据、土地利用现状数据和地形图,对拟建长益高速复线沿线景观要素进行分类。

综合考虑长益地区影像特征、农业生产情况、拟建高速沿线地表地貌情况,对研究区域景观划分为5类:水域、建设用地、耕地、裸地、林地灌丛草地。在ENVI 5.1中运用最大似然法对影像进行监督分类,整体精度为92.535 2%,Kappa系数为0.847 6。对分类结果进行分类处理后导入ArcGIS 10.2中,以拟建长益高速公路中心线分别建立500,1 000,1 500,2 000 m缓冲区,得到建成后的模拟景观格局图。长益高速复线建成后1 500 m范围内的景观类型图如图3所示。

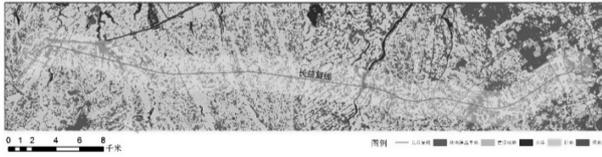


图 3 长益高速复线建成后景观类型图

Fig. 3 Landscape patterns of Changsha-Yiyang double-tracked highway after its construction

### 2.3 景观指数的选择

景观指数是指能高度浓缩景观格局信息并反映

其结构组成和空间配置特征的定量指标<sup>[19-22]</sup>。本文主要选取了景观斑块类型指数、多样性指数和斑块优势度等对研究区高速公路建设前后的景观结构进行分析<sup>[19-26]</sup>。各类景观指数及其含义如表 1<sup>[23-24]</sup>所示。其中： $a_{ij}$  为第  $ij$  斑块的面积， $A$  为所有景观的总面积， $a_i$  为某类型斑块  $i$  的面积， $p_i$  为斑块  $i$  的周长， $b_i$  为与斑块  $i$  面积相同的正方形的周长， $p_{ij}$  为斑块类型  $i$  与  $j$  相邻的概率， $k$  为斑块类型总数， $N$  为某种类型斑块总数。

表 1 景观指数及其含义

Table 1 Indices of landscape with their ecological connotations

指数名称	计算公式	概念描述
斑块类型指数	$PLAND = \sum_{j=1}^n a_{ij} \div A \times 100\%$	表示斑块所占景观面积的比例，即某一斑块类型占整个景观面积的比例
最大斑块指数	$LPI = \frac{\max(a_1, a_2, \dots, a_n)}{A}$	表示某一类型的最大斑块在整个景观中所占比例
斑块形状指数	$SHAPE\_AM = \sum_{i=1}^n \frac{0.25 p_i}{\sqrt{b_i}}$	表示景观空间格局的复杂性
斑块分维指数	$FRAC\_AM = \sum_{i=1}^n \frac{2a_i \ln p_i}{A \ln a_i}$	表示人类活动对景观格局的影响
多样性指数	$SHDI = \sum_{i=1}^n (R_i \ln R_i)$	表示景观异质性
聚集度指数	$CONESION = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (p_{ij} \log_2 p_{ij})}{2 \ln k}$	表示景观中不同斑块类型的聚集程度
斑块密度	$R_d = \frac{N}{A}$	表示单位面积上斑块的数量
斑块频率	$R_i = \frac{\text{斑块 } i \text{ 的样方数}}{\text{总样方数}}$	表示某景观类型斑块 $i$ 在总样方中出现的次数
景观比例	$L_p = \frac{\text{斑块 } i \text{ 的面积}}{\text{样方面积}}$	表示某景观类型斑块 $i$ 面积在总样方中的比例
优势度	$D_o = \frac{(R_i + R_j) / 2 + L_p}{2}$	表示区域景观要素间的数量和总面积比例，值越大占主导地位的景观要素越明显

## 3 景观格局变化分析

### 3.1 斑块层次分析

长益高速复线建成前后，沿线两侧 500 m 范围内的各种景观类型的景观指数均有所变化，如表 2 所示。

表 2 长益高速复线建设前后沿线 500 m 缓冲区内各斑块类型景观指数

Table 2 Landscape indices of different patch types within the range of 500 m alongside Changsha-Yiyang double-tracked highway before and after its construction

斑块类型	CA/hm <sup>2</sup>		PLAND		LPI		AREA_MN/hm <sup>2</sup>		SHAPE_AM		FRAC_AM	
	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后
林地灌丛草地	567.97	549.78	11.70	11.33	1.29	0.87	1.60	1.37	2.17	1.99	1.13	1.12
裸地	18.55	18.15	0.38	0.37	0.06	0.05	0.55	0.48	1.55	1.48	1.09	1.08
水体	73.21	70.19	1.51	1.45	0.50	0.30	0.55	0.30	1.89	1.77	1.11	1.11
耕地	3 152.93	3 035.97	64.95	62.54	15.37	7.32	17.52	10.33	10.76	6.10	1.30	1.25
建设用地	1 041.84	1 180.51	21.46	24.32	1.70	13.51	1.08	1.41	2.92	16.35	1.16	1.29

注：CA 为斑块总面积；AREA\_MN 为平均斑块面积。

表 2 说明了高速公路建设后切割了原来的景观格局，分割了原有完整的景观类型，使得公路沿线景观类型的破碎化程度增大。因高速公路的修建而导致建设用地面积增加，且公路为一个大的整体斑块，故而

从表 2 中可以看出，景观面积减少量从多到少依次为耕地、林地灌丛草地、水体、裸地，分别减少了 116.96, 18.19, 3.02, 0.40 hm<sup>2</sup>；除建设用地外，其他各类型平均斑块面积都有所减少，耕地减少最多，为 7.19 hm<sup>2</sup>，其次是水体减少了 0.25 hm<sup>2</sup>。

建设用地的最大斑块指数由 1.70 提升到了 13.51。耕地的最大斑块指数由 15.37 下降到了 7.32，而耕地平均斑块面积由 17.52 hm<sup>2</sup> 下降到 10.33 hm<sup>2</sup>，虽然降幅最大，但平均斑块面积仍远大于其他景观类型，仍然

为主要优势斑块类型。公路建设后，建设用地的面积加权平均斑块形状指数和斑块分维指数均有所增长，说明公路的修建使得建设用地景观类型变化更加复杂。而水体、裸地和林地灌丛草地几乎没有变化，说明公路修建对这3种景观类型影响甚微。

### 3.2 景观层次分析

高速公路建成前后，不同缓冲区景观指数的变化如图4所示。

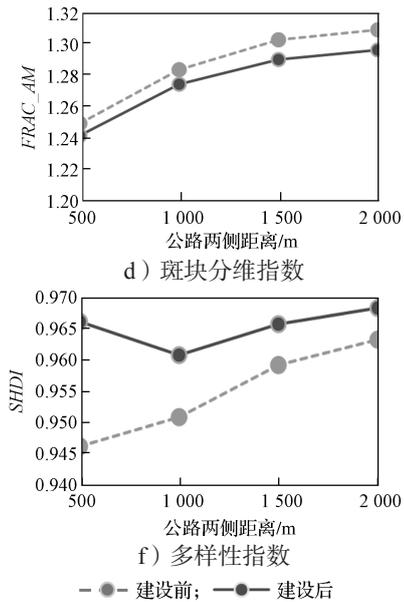
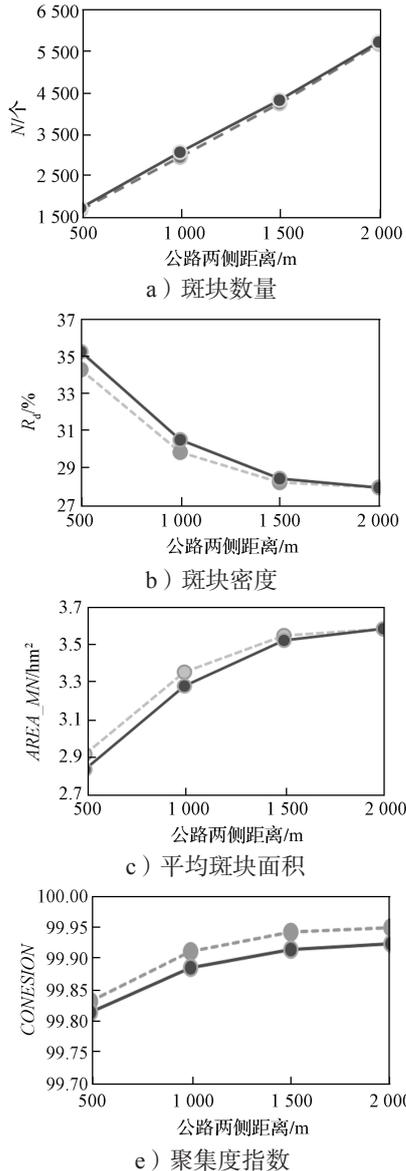


图4 长益高速复线建设前后不同缓冲区景观指数的变化  
Fig. 4 Variation of landscape indices in different ranges alongside Changsha-Yiyang double-tracked highway before and after its construction

由图4可知，在4种尺度的缓冲区内，斑块数量、斑块密度和 Shannon 多样性指数都是高速公路建设后较建设前有所增长；平均斑块面积、面积加权平均斑块分维指数、聚集度指数在高速公路建设后都小于建设前。这都说明高速公路的线性切割加剧了景观格局的破碎度，使得景观格局多样性变得复杂。随着高速两侧缓冲区距离的增加，聚集度指数越来越大，并且在高速公路建设前后多样性指数的差值越来越小，这表明高速公路的切割影像随距离增加逐渐变小。

### 3.3 景观优势度分析

区域完整的生态格局由各景观要素共同组成，分析各类型要素在整体生态格局中的优势度情况，能有效判断公路的修建是否对景观生态空间产生了重大影响。高速公路建设前后500 m缓冲区内各类型景观指数如表3所示。

从表3中可以看出，因高速公路修建线性切割原有地类，使得地类斑块更加破碎，斑块数量增加，从而导致除建设用地以外的其他地类斑块密度增大。

表3 长益高速复线建设前后500 m缓冲区内各类型景观指数

Table 3 Landscape indices of different patches within the range of 500 m alongside Changsha-Yiyang double-tracked highway before and after its construction

斑块类型	$R_d$ /%		$R_p$ /%		$L_p$ /%		$D_p$ /%	
	前	后	前	后	前	后	前	后
林地灌丛草地	21.33	23.44	20.89	23.58	11.70	11.33	16.41	17.42
裸地	2.04	2.22	3.67	2.44	0.38	0.37	1.62	1.35
水体	8.05	8.30	9.65	8.67	1.51	1.45	5.18	4.97
耕地	10.82	17.18	8.60	3.73	64.95	62.54	37.33	36.50
建设用地	57.75	48.86	57.19	61.58	21.46	24.32	39.47	39.77

高速公路作为建设用地斑块,其斑块密度降低了8.89%,建设用地的频率和景观比例分别有4.39%、2.86%的增长,其优势度由39.47%提升到39.77%。林地灌丛草地因其斑块数量多,导致其密度和频率都有较大的增长,从而使得其优势度由16.41%提升到了17.42%。耕地的优势度虽然随着频率和景观比例的降低而有所降低,但因其景观比例值较大,仍然保持着较高的优势度。水体、裸地优势度均有微小幅度减少。整体来说,长益高速复线的修建并没太大改变沿线以建设用地、耕地为主体的景观生态格局。

## 4 结论

以遥感影像图为基础,在3S技术支持下研究高速公路建设对沿线景观格局的影响,既能定量分析景观格局的变化,又能实现信息的可视化,对重大工程项目的的环境评价具有现实和理论意义。

作为线性要素的高速公路,切割了原有完整的景观类型,对沿线景观格局产生了一定影响,从长益高速复线建设前后各景观指数的变化可得如下结论:

- 1) 高速沿线500 m范围内,原有的景观类型更加趋于破碎化,影响较大的是耕地和林地灌丛草地;
- 2) 高速公路的修建对沿线景观格局影响范围有限,距离公路越远其影响越小;
- 3) 虽然长益高速复线的修建提高了公路沿线林地、建设用地的优势度,但并未改变沿线整体景观的生态格局。

### 参考文献:

- [1] 孟巍. 高速公路对区域经济影响分析与评价方法研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2006.  
MENG Wei. The Research on Evaluation Method and Influences Analysis of Expressway on Regional Economic[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2006.
- [2] 黄俊生. 公路交通的区域经济发展作用与吉林省干线高速公路发展适应规模的研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2007.  
HUANG Junsheng. Research on the Role of Regional Economic About Highway Traffic and the Adaptation Extensive of Link Freeway Development in Jilin Province[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2007.
- [3] 马春燕, 王钧利. 脆弱生态地区高速公路建设的环境问题分析[J]. 山西交通科技, 2006(1): 12-15.  
MA Chunyan, WANG Junli. The Analysis of Environmental Problem for Expressway Construction in Vulnerable Ecological Area[J]. Shanxi Science & Technology of Communications, 2006(1): 12-15.
- [4] 赵勇, 吴明作, 钟崇林. 公路建设项目对景观影响综合评价[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(4): 38-41.  
ZHAO Yong, WU Mingzuo, ZHONG Chonglin. Comprehensive Impact Assessment of Highway Construction Project on Landscape[J]. Journal of Safety and Environment, 2004, 4(4): 38-41.
- [5] 史丽君, 张绍良, 卞正富, 等. 高速公路建设对农村景观生态的影响及景观规划研究: 以邳州八义集镇为例[J]. 资源·产业, 2005, 7(5): 57-60.  
SHI Lijun, ZHANG Shaoliang, BIAN Zhengfu, et al. Landscape Programming and Impact of Highway on Countryside Landscape Ecology: A Case from Bayi Town, Pizhou City[J]. Resources & Industries, 2005, 7(5): 57-60.
- [6] 李月辉, 胡远满, 李秀珍, 等. 道路生态研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 447-452.  
LI Yuehui, HU Yuanman, LI Xiuzhen, et al. A Review on Road Ecology[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(3): 447-452.
- [7] 汪阳, 孙勤芳, 朱琳. 公路建设对生态敏感区域生态系统稳定性的影响评估[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(3): 93-97.  
WANG Yang, SUN Qinfang, ZHU Lin. Impact Assessment of Highway Construction on Ecological System Stability in Ecological Sensitive Area[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2011, 27(3): 93-97.
- [8] 彭望琼, 白振平, 刘湘南, 等. 遥感概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 1-23.  
PENG Wanglu, BAI Zhenping, LIU Xiangnan, et al. Introduction to Remote Sensing[M]. Beijing: China Higher Education Press, 2008: 1-23.
- [9] 黄杏元, 马劲松. 地理信息系统概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 18-27.  
HUANG Xingyuan, MA Jinsong. Introduction to Geographical Information Systems[M]. Beijing: China Higher Education Press, 2008: 18-27.
- [10] 田雷, 沈毅, 李宗禹, 等. 3S技术支持下的公路路域景观格局特征变化研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 168-173.  
TIAN Lei, SHEN Yi, LI Zongyu, et al. Application of Landscape Ecology in Road Field Environment Variation Based on 3S Technique[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(2): 168-173.
- [11] 刘路明, 李云涛, 陆王焯, 等. 3S技术在高速公路生态影响评价中的应用[J]. 北方环境, 2013, 25(10): 103-109.  
LIU Luming, LI Yuntao, LU Wangye, et al. The Application of 3S Technology in Ecological Impact

- Assessment[J]. Northern Environmental, 2013, 25(10): 103-109.
- [12] LI S C, ZHOU Q F, WANG L. Road Construction and Landscape Fragmentation in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2005, 15(1): 123-128.
- [13] GRIFINTHS G H, MATHER P M. Remote Sensing and Landscape Ecology: Landscape Patterns and Landscape Change[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(13/14): 2537-2539.
- [14] 徐建军. 基于 GIS 和 RS 的生态环境影响评价研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2008.  
XU Jianjun. Research on the Ecological Environment Impact Assessment Based on GIS and RS[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2008.
- [15] SAUNDERS S C, MISLIVETS M R, CHEN J Q, et al. Effects of Roads on Landscape Structure Within Nested Ecological Units of the Northern Great Lakes Region, USA[J]. Biological Conservation, 2002, 103(2): 209-225.
- [16] 曹武星, 罗飞雄, 韩 骥, 等. 快速城市化地区交通主干道对景观格局变化的影响[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(6): 898-906.  
CAO Wuxing, LUO Feixiong, HAN Ji, et al. The Impact of Road Development on Landscape Pattern Change in Rapidly Urbanizing Area[J]. Journal of Geo-Information Science, 2014, 16(6): 898-906.
- [17] CHEN X M. Assessing the Impacts of High Speed Rail Development in China's Yangtze River Delta Megaregion [J]. Journal of Transportation Technologies, 2013, 3(2): 113-122.
- [18] 蔡雪娇, 程 炯, 吴志峰, 等. 珠江三角洲地区高速公路沿线景观格局变化研究[J]. 生态环境学报, 2012, 21(1): 21-26.  
CAI Xuejiao, CHENG Jiong, WU Zhifeng, et al. Assessing Landscape Pattern Changes Along Expressways in Pearl River Delta[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(1): 21-26.
- [19] 徐从燕, 张 强, 贾荣畅, 等. 3S 技术及其在化工园区环评中的应用[J]. 山东化工, 2013, 42(7): 87-89.  
XU Congyan, ZHANG Qiang, JIA Rongchang, et al. Analysis of Application of 3S in Environmental Impact Assessment for Chemical Industry Park[J]. Shandong Chemical Industry, 2013, 42(7): 87-89.
- [20] 韩倩倩, 潮洛濛, 王山林. 高速公路对沿途土地利用及景观格局的影响: 以内蒙古省道 103 线蒲滩木刀口到城壕段为例[J]. 环境保护科学, 2009, 35(5): 58-61.  
HAN Qianqian, CHAO Luomeng, WANG Shanlin. Impact of Highway to Land Use and Landscape Pattern Alongside the Road: Taking 103 Provincial Road from Putanguai to Chenghao in Inner Mongolia Example[J]. Environmental Protection Science, 2009, 35(5): 58-61.
- [21] 刘世梁, 崔保山, 杨志峰, 等. 高速公路建设对山地景观格局的影响: 以云南省澜沧江流域为例[J]. 山地学报, 2006, 24(1): 54-59.  
LIU Shiliang, CUI Baoshan, YANG Zhifeng, et al. Effects of Highway Construction on Mountain Landscape Pattern: A Case Study in Lancangjiang River Valley of Yunnan Province[J]. Journal of Mountain Science, 2006, 24(1): 54-59.
- [22] 张 雁, 胡晋茹, 谭 伟. 辽东丘陵区高速公路建设对景观格局的影响: 以辽宁桓仁至永陵高速公路为例[J]. 山地农业学报, 2009, 28(4): 338-341.  
ZHANG Yan, HU Jinru, TAN Wei. Impact of Highway Construction in Hilly Area on the Landscape Pattern in East Liaoning Province: A Case from Huanren-Yongling Expressway[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2009, 28(4): 338-341.
- [23] 邬建国. 景观生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 106-124.  
WU Jianguo. Landscape Ecology[M]. Beijing: China Higher Education Press, 2004: 106-124.
- [24] FORMAN R, GODRON M. 景观生态学[M]. 肖笃宁, 译. 北京: 科学出版社, 1990: 67-84.  
FORMAN R, GODRON M. Landscape Ecology[M]. XIAO Duning, Translator. Beijing: Science Press, 1990: 67-84.
- [25] 马 苏, 杨 波, 郑志华, 等. 湖南永吉高速公路建设的景观格局影响评价[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(11): 1383-1388.  
MA Su, YANG Bo, ZHENG Zhihua, et al. Landscape Pattern Impact Assessment for the Construction of Yongji Highway, Hunan[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(11): 1383-1388.
- [26] 袁睿佳, 孙珮石, 邓辅唐. 高速公路建设与景观生态学应用研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2007, 29(增刊1): 260-266.  
YUAN Ruijia, SUN Peishi, DENG Futang. Research on Highway Construction and Application of the Landscape Ecology[J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2007, 29(S1): 260-266.

(责任编辑: 邓光辉)