

# 3S 技术支持下的公路路域景观格局特征变化研究\*

田 雷, 沈 毅, 李宗禹, 董博昶, 魏显威

(交通部公路科学研究院, 北京 100088)

**摘 要:** 3S(GPS, RS, GIS) 技术在土地资源调查、土地利用变化调查等的应用非常广泛, 文章以思茅-小勐养高速公路为应用案例, 对其建设前(1996 年)、建设后(2007 年)两个时相的 Landsat5-TM 遥感数据的公路路域不同缓冲区范围内的土地利用/土地覆被变化(LUCC)、景观结构动态变化进行分析, 结果表明: 景观生态学作为一门新兴的学科, 可以为公路景观环境评价研究提供新理论、方法和技术手段; 高速公路线性走廊对景观是一种线性切割过程, 离公路距离越近的缓冲区, 景观指标值的变化幅度越大, 公路修建对近距离缓冲区内景观格局的影响越大, 反之则影响减小。

**关键词:** 遥感; 土地利用; LUCC; 景观格局

中图分类号: X171; U412

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)02-0168-06

## Application of Landscape Ecology in Road Field Environment Variation Based on 3S Technique

TIAN Lei, SHEN Yi, LI Zong-yu, DONG Bo-chang, WEI Xian-wei

(Research Institute of Highway the Ministry of Communications, Beijing 100088, China)

**Abstract:** Based on 3S technique, the research analyzed the different buffer LUCC and landscape pattern by the satellite data of Landsat5-TM in 1996 and 2007 by the case of Simao-Xiaomengyang highway. The results indicated: as a rising subject landscape ecology can offer new theory, method and technique means for the road landscape environmental estimation research; the highway is a incising course for the landscape, the buffer nearer to the road, the bigger range the landscape index vary and the bigger the road construction impact the landscape environmental pattern and contrarily, the smaller the construction impact the environment.

**Key words:** remote sensing; landuse; LUCC; landscape pattern

高速公路是长距离连续的大型建筑构造物, 它的建设和营运, 对生态环境造成的影响是永久的、不可逆转和再生的<sup>[1]</sup>, 作为一种线状干扰廊道, 其特点是连通性较高, 新廊道的出现将对现有景观格局产生一定的不利影响。公路景观环境评价研究是我国公路建设中的新课题<sup>[2]</sup>, 景观生态学的发展为公路景观环境评价研究提供了新理论、方法和技术手段, 研究高速公路的建设对沿线景观格局的影响有利于维护区域生态环境建设的规划管理和区域的可持续发展, 为景观动态研究提供基础信息, 同时也有利于进一步研究道路和生态系统的交互作用机制<sup>[3]</sup>。土地利用/土地覆被变化(LUCC)越来越多

的应用于生态环境变化的研究中, 它是全球变化研究的核心内容之一<sup>[4-6]</sup>, 研究土地覆被动态变化可以把握公路的建设对陆表的干扰程度。颜长珍等人利用 Landsat-TM 卫星数据, 对地处半干旱区的张家口、榆林和定西 3 个典型区在 1997 年和 2002 年的土地覆被进行了遥感监测, 并以土地覆被类型变化面积和景观格局指数为指标分析了生态环境建设工程的效果及由此而产生的土地覆盖景观格局的变化特点<sup>[7]</sup>。张帅等人利用 1977 年、1993 年及 2003 年的 MSS 和 TM 三个时相的卫星数据, 通过人机交互式解译在 GIS 的平台下分析了两个时段的土地覆被变化和景观格局的动态变化规律<sup>[8]</sup>。目前国内

\* 收稿日期: 2009 09 07

基金项目: 西部公路工程的生态环境损益分析及路域生态工程效果评估研究(200731822314)

作者简介: 田雷(1980-), 男, 山东莱阳人, 硕士, 主要从事遥感应用和环境科学研究。E-mail: lei.tian@rioh.cn

的研究主要集中在概念或框架上,在土地覆被变化和景观格局指标的定量化应用尚缺少进一步的研究,文章利用了思小公路建设前后的卫星数据,对公路路域范围内的土地利用变化和景观格局指标进行了分析,总结了公路建设前后的土地利用变化和景观格局的动态变化规律。

## 1 研究区域概况

思小高速公路位于云南省思茅市和景洪市境内,呈南北走向,境内为横断山脉与无量山脉南延部分,总趋势北高南低,峰峦叠嶂、此起彼伏,一片绿原林海。根据地貌成因可分为:山间盆地、河谷、构造剥蚀地形 3 种地貌单元。本项目所在区域属热带—亚热带气候区,干旱季节分明,交替时间为 5—10 月,夏秋多雨湿热,冬春少雨干燥。气候随海拔高度变化明显,具垂直分带特征,动植物资源较丰富。思小高速路的开工时间是 2003 年初,竣工时间是 2006 年初。

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 数据来源

研究所用数据来源于美国陆地卫星 Landsat-5 的 TM 传感器,时相分别为 2001-04-10、2007-01-21 的 7 个波段的遥感数字信息(思小公路施工期为 2003—2006 年,所以,以时相为 2001-04-10 的数据代表施工建设之前的环境本底值数据,以 2007-01-21 时相代表公路建成之后的数据);影像的空间分辨率为  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ ,投影方式是 Transverse Mercator 投影。该数据无云覆盖,总体成像质量效果较好。结合地面调查点作为参考,该遥感数据空间分辨率可以满足宏观、快速对植被覆盖状况获得认识的基本要求。

### 2.2 研究方法

2.2.1 图像预处理 择思小高速公路两侧 10 km 范围的不同缓冲区为研究区域,选用完全覆盖研究区的 2 景不同时相的 Landsat-5 TM 数据为基本数据源。数据通过辐射纠正,以 1:5 万的地形图为准,利用二次多项式和双线性内插法对图像进行了几何校正,经重新选点检验,误差在一个象元内。以 2007-01-21 的 TM 数据为基准,应用 SCR (Scattergram Controlled Regression) 方法<sup>[9]</sup>,以一次线性回归形式,对不同时期的遥感影像做简易标准化处理,以消除可能的物候状况差异。

2.2.2 土地覆被变化数据处理 参照全国土地利

用现状调查技术规程、全国土地利用现状分类系统及思茅、景洪土地利用现状,根据实地调查和遥感卫星影像解译,将评价区土地利用情况划分为林地、稀树灌木草地、耕地(包括水浇地和旱地)、水域、城建用地 5 种类型。

在野外查勘、调查研究的基础上,充分利用现有资料,基于遥感和地理信息系统软件等先进的技术手段和方法,进行分析。技术路线为:遥感图像选取→图像分析解译标志建立→判读与制图→面积量算,已形成一套成熟技术路线。

2.2.3 景观格局指标 景观生态学是一门横跨自然和社会科学的综合性学科,其研究领域十分广泛。景观生态学研究的内容大致分为 3 个部分:景观的结构、景观功能、景观动态,景观的结构、功能和动态是相互依赖、相互作用的,无论在哪一个生态学组织层次上(如种群、群落、生态结构或景观),结构与功能都是相辅相成的。结构在一定程度上决定功能,而结构的形成和发展又受到功能的影响。景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标。为了系统的分析评价区内景观格局结构的特点,景观生态学家对景观分析提出了许多不同的指标<sup>[10-12]</sup>。项目分别选取了景观属性分析指标、景观形状分析指标、景观配置指标、景观连通性指标中的具有代表性的景观指标评估公路建设前后的生态结构变化情况。各类指标的代表意义见表 1 所示。

2.2.4 景观结构空间变化 公路建设项目景观生态影响关注的内容是景观生态系统在公路建设的干扰下发生了怎样的变化。景观空间格局指数可以反映景观各组分以及景观整体空间格局的变化特征,但是还不能反映出景观各组分之间的相互转化关系,这就需要依赖于景观空间结构变化转移矩阵分析。景观类型之间的相互转化情况,可以采用马尔柯夫转移矩阵来进一步描述<sup>[13]</sup>。这是一种以地图代数原理为基础,定量化度量景观空间组分变化的有效手段。通过马尔柯夫转移矩阵,可以定量说明土地利用景观类型之间的相互转化状况,从而可以更好的了解土地利用的时空演变过程。

设对比分析的两期景观格局为  $A_{i \times j}^k$  和  $A_{i \times j}^{k+1}$ ,采用式(1)进行叠加运算。

$$C_{i \times j} = A_{i \times j}^k \times 10 + A_{i \times j}^{k+1} \quad (1)$$

式中:  $C_{i \times j}$  ——由  $k$  时期到  $k+1$  时期的景观格局变化图,它反映了景观变化的类型及其空间分布,由此可以求得景观类型相互转移的数量关系和转移矩阵。

在对景观类型变化图进行统计分析后,可以得到由  $k$  时期到  $k+1$  时期第  $k+1$  类土地利用类型转换为第  $j$  类土地利用类型的面积数  $A_{ij}$ 。由此,土地利用类型转移矩阵中的各项因子可由以下各式求得。

$$B_{ij} = A_{ij} \times 100 / \sum_{i=1}^n A_{ij} \tag{2}$$

$$C_{ij} = A_{ij} \times 100 / \sum_{j=1}^m A_{ij} \tag{3}$$

$$T = \left( \sum_{i=1}^n A_{ij} - \sum_{j=1}^m A_{ij} \right) \times 100 / \sum_{j=1}^m A_{ij} \tag{4}$$

式中:  $B_{ij}$  —— $k$  时期第  $i$  类土地利用类型转换为  $k+1$  时期第  $j$  类土地利用类型的比例(%);  $C_{ij}$  —— $k+1$  时期第  $j$  类土地利用类型由  $k$  时期第  $i$  类土地

利用类型转换来的比例(%);  $T$  —— $k+1$  时期各土地利用类型相对于  $k$  时期变化的程度。从而可以得到景观转移矩阵表。

3 结果与分析

3.1 土地利用现状分析

基于 ENVI 4.2 遥感数据处理软及以 ArcGIS 9.0 地理信息分析软件为辅助平台,通过以上方法将思小高速公路沿线两侧 10 km 范围内不同距离的缓冲区域进行土地利用现状人机交互式解译得到公路修建之前及建路之后的土地利用现状图如图 1。

表 1 各类景观指标的代表意义一览表

景观指标类型	代表意义
景观属性指标	景观指标是从斑块面积、密度等的角度来判别分析景观特征的。斑块面积影响单位面积的生物量、生产力、养分储存、物种多样性及内部种的移动和外来种的数量。大的自然植被斑块在景观中可以发挥多种生态功能,起着关键的作用。整个景观单一类型的最大和最小斑块面积分别具有不同的生态意义。最大斑块指数显示最大斑块对整个类型或者景观的影响程度
景观形状指标	景观形状指标主要分析斑块形状的特征。斑块形状和大小影响许多重要的生态过程。斑块形状影响生物种的发育、扩展、收缩和迁移,与几种关键功能相适应,一个生态上理想的斑块形状通常是具有一个大的核心和某些曲线边界及狭窄的回廊
景观配置指标	景观配置指数代表景观类型的空间分布格局。邻近度百分比表示景观类型的蔓延度,斑块越破碎,指数越小,斑块越蔓延,指数越大。聚丛指数主要表达景观类型的丛集程度,指数越大,景观越丛集,指数越小,景观越分散。聚集度描述的是景观里不同生态系统的团聚程度,由于这一指数包含空间信息,因而广泛地被应用于景观生态学领域,取值大,则代表景观由少数团聚的大斑块组成;取值小,则代表景观由许多小斑块组成。分布交叉指数不是景观集合度的测量,恰恰相反,是景观隔离和斑块混合的量度
景观连通性指标	景观连通性分析用斑块凝结指数( Cohesion) 来表示,它测量景观类型的空间连接度,值越大,说明景观的空间连通性越高

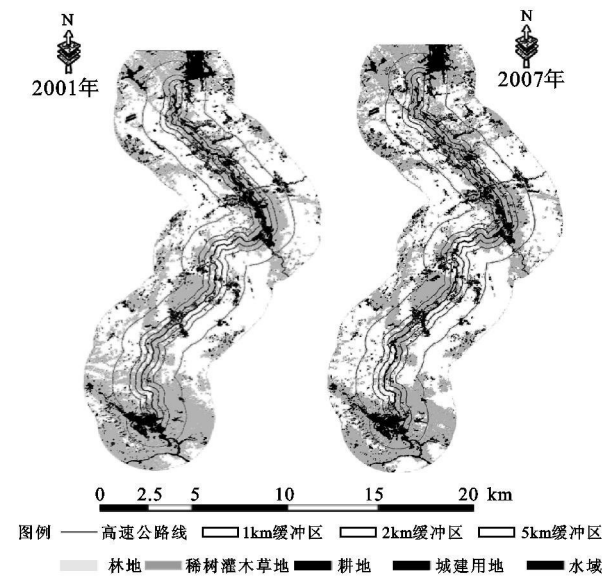


图 1 2001 年思小路土地利用现状图

以建设公路前后土地利用图为依据,以 ArcGIS 软件为平台计算不同缓冲区研究区域在公路建设前后的各土地利用类型的面积变化情况。以公路路线为中心统计沿线两侧 1, 2, 5, 10 km 等 4 个缓冲区建设前和建路后土地利用类型的面积变化情况,具体数据如表 2 所示。建路前后各土地利用类型相对应的缓冲区面积变化见图 2 所示。

从表 2 及图 2 中可以看出,各土地利用类型在相应缓冲区随着时间的变化,整体上稀树灌木草地和耕地面积有所减少,城镇建设用地的面积明显增加,主要是因为公路建设占用的国土面积很大时该地类的占用比例增加。整体上林地面积在修路以后面积有微弱增加的趋势,这主要是因为公路设计的路线基本上是沿着沿线人为干扰较大、陆表破坏度较高的山坡或山脚,其所占用的林地面积较少,研究范围内林地有向外扩充的增长趋势。随着距离公路

路线中心越近, 大部分地类的面积变化越剧烈, 建设前后土地利用类型面积变化幅度越大, 其中, 城建用地的变化面积最大, 这是因为公路建设(属于城建用地类型) 占用最大的地类是灌木草地和耕地。在距离较大的 10 km 范围缓冲区各地类在建设前后的变化趋势就较为接近了。

3.2 景观空间结构变化转移矩阵分析

为了能明显的统计分析出公路路线周围的路域土地利用类型变化情况, 从而总结公路建设对各土地利用类型的影响, 所选用的研究区域范围过大则使公路所属的地类在分析其对其他地类影响时不明显, 过小则不能反映其对其它地类的整体影响程度, 故选用沿线周围 2 km 缓冲区范围为景观转移分析的研究区域, 统计其各地类的转移变化情况。通过以上方法将两期影像进行叠加运算后得到研究区域随时间推移, 得到景观类型转移矩阵表如表 3 所示。

土地利用类型的空间转变分布图如图 3 所示。将各土地利用类型从  $k$  时期到  $k+1$  时期的转换为另一种土地利用类型面积所占的比例(用 B 表示) 和由另一种土地利用类型转化而来的面积所占的比例(用 C 表示) 绘制成图表可以形象地判断出各地类的转化比例大小情况, 如图 4 所示。

表 2 不同缓冲区各地类修路前后面积变化					
缓冲区 范围/ km	土地利用 类型	建设前		建设后	
		面积/ km <sup>2</sup>	比例/ %	面积/ km <sup>2</sup>	比例/ %
1	林地	71. 20	36. 91	72. 65	37. 66
	稀树灌木草地	93. 69	48. 57	87. 17	45. 19
	耕地	19. 32	10. 02	13. 25	6. 87
	城建用地	6. 94	3. 60	17. 94	9. 30
	水域	1. 76	0. 91	1. 90	0. 98
2	林地	167. 26	43. 24	172. 36	44. 55
	稀树灌木草地	170. 69	44. 12	159. 41	41. 21
	耕地	29. 13	7. 53	21. 56	5. 57
	城建用地	16. 57	4. 28	29. 72	7. 68
	水域	3. 21	0. 83	3. 81	0. 98
5	林地	330. 96	33. 47	580. 04	58. 65
	稀树灌木草地	565. 72	57. 20	306. 55	31. 00
	耕地	45. 95	4. 65	356. 00	3. 60
	城建用地	39. 93	4. 04	59. 05	5. 97
	水域	6. 39	0. 65	7. 70	0. 78
10	林地	1310. 03	34. 41	1337. 87	35. 30
	稀树灌木草地	599. 97	15. 76	558. 35	14. 73
	耕地	61. 91	1. 63	46. 88	1. 24
	城建用地	74. 99	1. 97	96. 06	2. 54
	水域	8. 85	0. 23	11. 11	0. 29

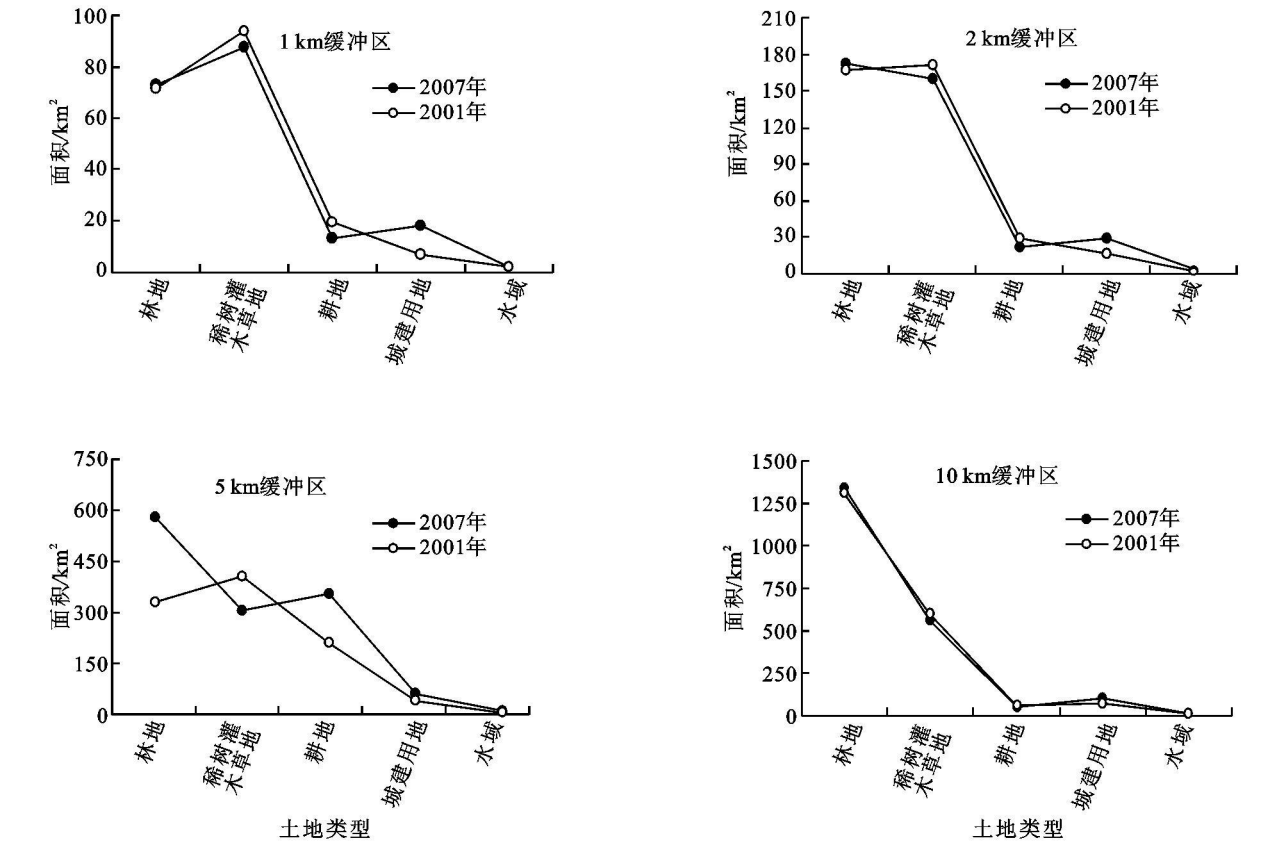


图 2 缓冲区面积变化对比

表 3  $k$  时期到  $k+1$  时期景观面积转移矩阵

	项目	$k+1$ 时期						
		林地/ km <sup>2</sup>	稀树灌 木草地/ km <sup>2</sup>	耕地/ km <sup>2</sup>	城建用地/ km <sup>2</sup>	水域/ km <sup>2</sup>	合计/ km <sup>2</sup>	占有率/ %
$k$ 时 期	林地/km <sup>2</sup>	148.24	16.83	0.11	2.01	0.08	167.26	43.24
	B/%	88.6	10.1	0.1	1.2	0.0	100	—
	C/%	86.0	13.9	0.1	0.1	0.0	100	—
	稀树灌木草地/km <sup>2</sup>	23.89	135.59	0.23	10.56	0.42	170.69	44.12
	B/%	14.0	79.4	0.1	6.2	0.2	100	—
	C/%	10.6	85.1	4.2	0.2	0.0	100	—
	耕地/km <sup>2</sup>	0.10	6.68	21.21	0.97	0.16	29.13	7.53
	B/%	0.3	22.9	72.8	3.3	0.6	100	—
	C/%	0.5	1.1	98.4	0.1	0.0	100	—
	城建用地/km <sup>2</sup>	0.13	0.25	0.01	16.18	0.00	16.57	4.28
	B/%	0.8	1.5	0.1	97.7	0.0	100	—
	C/%	6.8	35.5	3.3	54.4	0.0	100	—
	水域/km <sup>2</sup>	0.01	0.06	0.00	0.00	3.14	3.21	0.83
	B/%	0.3	1.9	0.0	0.0	97.9	100	—
	C/%	2.1	11.1	4.3	0.0	82.5	100	—
	合计/km <sup>2</sup>	172.36	159.41	21.56	29.72	3.81	386.86	—
	占有率/%	44.55	41.21	5.57	7.68	0.98	100	—

注: B 代表  $k$  时期某土地利用类型转换为  $k+1$  时期另一类土地利用类型的比例; C 代表某土地利用类型由另一类土地利用类型转换而来的比例。

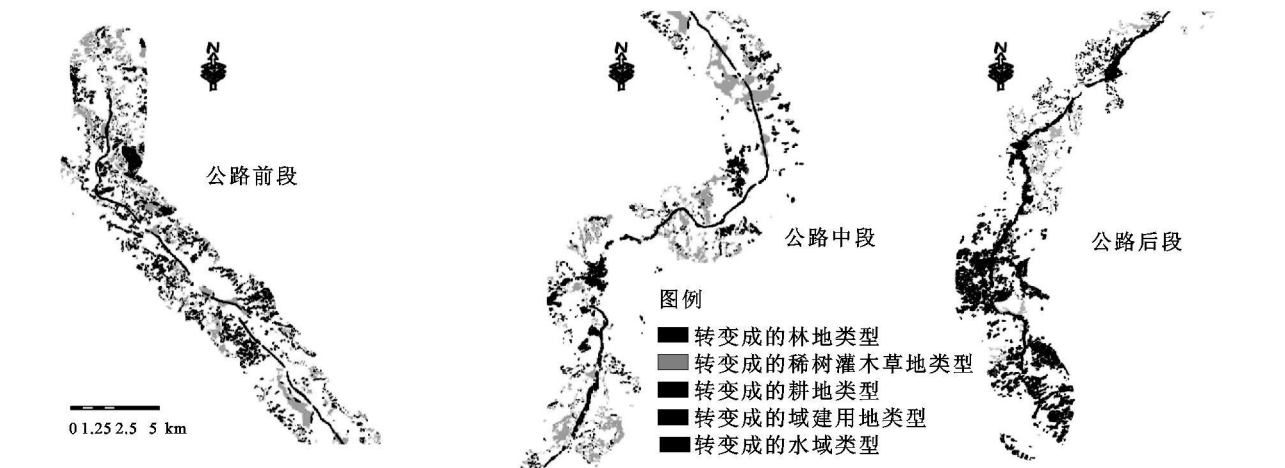


图 3 土地利用类型转移矩阵时空变化图

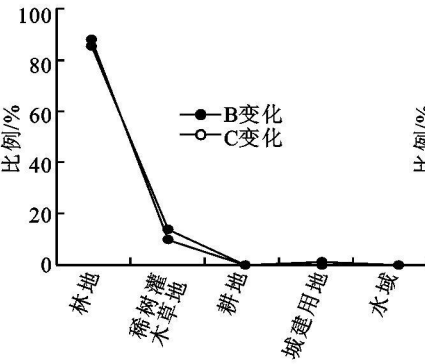


图 4 林地 B、C 变化图

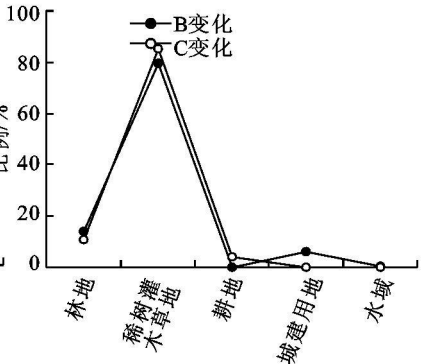


图 5 稀树灌木草地 B、C 变化图

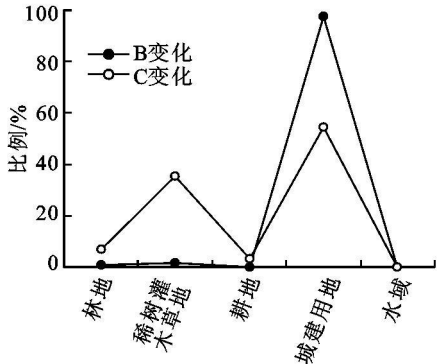


图 6 城建用地 B、C 变化图

从表 3 及图 3—8 中可以看出, 林地、水域与其它地类的转化面积最小, 只有稀树灌木草地与林地系统进行转换的数量相对较大, 其它包括公路在内的城建用地与林地、水域的面积交换数量很小, 说明在公路

建设过程中,施工建设和公路占地对林地这种地类干扰很小,公路在选线时已经考虑了避让大片林地,公路建设对其他地类干扰程度将增大。从表 3 及图 7-11 中可以看出稀树灌木草地系统、耕地系统均与城建用地面积交换量值很大,城建用地与这两种地类的面积转化集中体现在图 4-6 中,从图中可以清晰的判别人城建用地转化为灌木草地及耕地的面积比例远远小于灌木草地及耕地转化为城建用地的面积。

从土地利用空间变化图上可以看出,在随着建路的时间前后,变化的地类中,城建用地的变化最大,变化的城建用地中包括公路和因为城市扩张而形成的城建用地。转变成其它地类(如转变成的林地、灌木草地等)的空间分布都是零星均匀分布在路线的两侧。

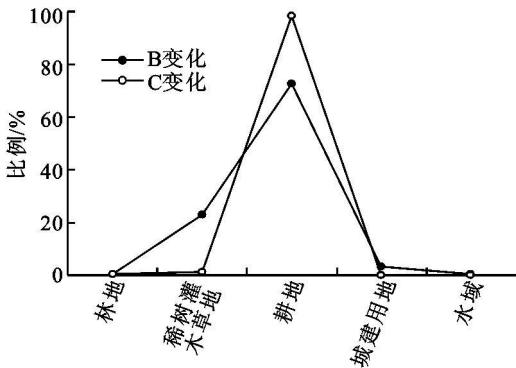


图 7 耕地 B、C 变化图

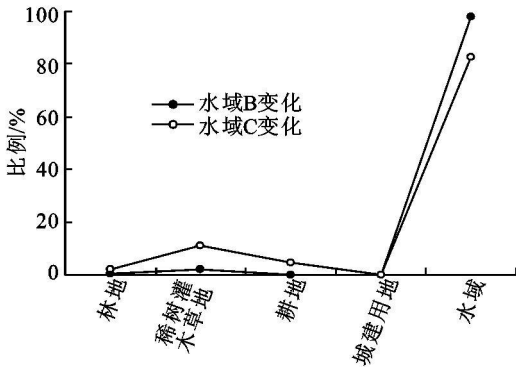


图 8 水域地 B、C 变化图

4 结论

(1) 景观生态学作为一门新兴的课题,可以为公路景观环境评价研究提供新理论、方法和技术手段。

(2) 对于景观指标应用于思小公路而言,林地、水域与其它地类的转化面积最小,只有稀树灌木草地与林地系统进行转换的数量相对较大,其它包括公路在内的城建用地与林地、水域的面积交换数量很小;城建用地转化为灌木草地及耕地的面积比例远小于灌木草地及耕地转化为城建用地的面积。

(3) 高速公路线性走廊对景观是一种线性切割过程,修建前后的沿线不同缓冲区范围内景观指标变化的幅度不相同,离公路距离越近的缓冲区,景观指标值的变化幅度越大,公路修建对近距离缓冲区内景观格局的影响越大,随着公路两侧缓冲区距离的增加,其对研究范围内景观格局的影响减小。

参考文献:

[1] 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.

[2] 贺志勇.景观生态学在公路景观环境评价中的应用[J].城市环境与城市生态,2003,16(6):133-135.

[3] 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.

[4] Watson R T, Noble I R, Bolin B et al. Land Use, Land- Use Change and Forestry[M]. London: Cambridge University Press, 2000: 1-362.

[5] 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,1996,51(6):553-557.

[6] 方精云,唐艳鸿,常杰.变化中的全球气候[M]//方精云.全球生态学:气候变化与生态响应.北京:高教出版社,2000:1-24.

[7] 颜长珍,张磊,吴炳方,等.生态环境建设典型区土地覆盖景观变化的遥感分析[J].水土保持学报,2004,18(5):129-133.

[8] 张帅,邵全琴,刘纪元,等.黄河源区玛多县土地利用/覆被及景观格局变化的遥感分析[J].地球信息科学,2007,9(4):109-115.

[9] Quarmby N A, Townshend J R G, Settle J J, et al. Linear mixture modeling applied to AVHRR data for crop area estimation[J]. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13: 415-425.

[10] Slater J, Brown R. Changing landscapes: monitoring environmentally sensitive areas using satellite imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(13): 2753-2767.

[11] Grifiths G H, Editorial: Remote sensing and landscape ecology: landscape patterns and landscape change[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(13): 2537-2539.

[12] 陈利顶,傅伯杰.黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析[J].生态学报,1996,16(4):337-344.

[13] 李喆,秦其明,刘大平,等.土地利用变化的时空分析及其在云南丽江的应用[J].云南地理环境研究,2004,16(3):10-13.