

# 不同道路类型对澜沧江流域景观的生态影响

刘世梁, 温敏霞, 崔保山

(北京师范大学环境学院 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

**摘要:** 生境破碎化引发一系列潜在的生态效应, 定量表达道路建设造成破碎化特征对于道路生态系统管理具有重要意义。针对澜沧江流域, 利用 GIS 和 FragStat 软件, 通过情景分析, 分析了不同级别道路建设对景观的影响。结果表明: 澜沧江流域一级路所影响面积最大, 三级路最小, 而影响的斑块数目则为一级路 > 二级路 > 三级路 > 高速路; 生态系统影响面积为林地 > 草地 > 旱地 > 灌丛 > 水田 > 建设用地, 斑块数目以旱地最高, 其次为林地。情景分析表明, 随着道路的建设和规划方案的实施, 影响域内斑块平均面积减少, 斑块数目、平均分维数增加, 但总体上, 高速路建设对生境破碎化的贡献率较小。土壤侵蚀分布结果表明, 侵蚀面积为一级路 > 二级路 > 高速路 > 三级路。

**关键词:** 道路网络; 生态影响; 景观; 澜沧江流域

**文章编号:** 1000-0585(2007)03-0485-06

道路的分布范围之广和发展速度之快, 都是其他建设工程所不能比的<sup>[1,2]</sup>。有研究表明, 道路影响域至少涉及到全球陆地的 15%~20%<sup>[1]</sup>, 20 世纪 90 年代以来, 中国公路的高速发展, 特别是西部大开发期间的公路建设, 使得生态敏感区道路建设所产生的生态效应越来越受到重视<sup>[3]</sup>。

道路是叠加在自然生态系统之上的技术—生态系统, 对生态系统的影响巨大, 作为人类活动的通道, 影响着人类活动的分布格局, 也影响着周边土地利用的变化<sup>[4]</sup>。所产生的生态过程分为直接影响和间接影响, 尺度也从种群一直到景观<sup>[5,6]</sup>。目前许多学者对道路建设对种群、生态系统的影响进行了初步研究<sup>[7~10]</sup>, 对生态系统以上尺度影响研究尚处于起步阶段<sup>[11~14]</sup>。大尺度上道路对生态环境的影响主要通过道路网络进行扩展, 这些影响集中反映在道路网络影响域的生态系统形态、类型和受影响程度等。同时交通条件的改善是导致沿线周边生态系统格局变化的重要因素。探讨道路网络引起的生境破碎化可以揭示道路对于生态系统格局、过程的影响效应<sup>[15]</sup>。道路修建和运营中的生态效应都与破碎化有直接或间接关系, 因而探索道路网络与生态系统及其生境破碎化的内在联系有助于准确定量评价道路的生态效应, 为进一步管理道路及其周边生态系统提供科学依据<sup>[15]</sup>。

以往的研究大多集中在单一道路的生态效应分析或者主干道对景观格局影响上, 往往忽视了低等级道路对景观格局的影响, 目前有许多研究表明低等级道路在森林内部有显著的生态影响, 但景观角度论述较少<sup>[8]</sup>。低等级道路对区域的植被景观影响也不容忽视, 低等级道路加剧了植被的破碎化程度<sup>[4,5,8]</sup>。相应地, 由于道路具有影响范围大, 影响因素多及难以弥补和预测等特点, 道路网络所产生的生态效应, 如土壤侵蚀、区域景观变化等

收稿日期: 2006-08-08; 修订日期: 2006-12-21

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2003CB415104)和国家自然科学基金(40501067)

作者简介: 刘世梁, (1976-), 男, 山东沂水人, 博士, 讲师。主要从事土地利用、景观生态学和土壤学等方面研究, 发表论文 30 余篇。

也受到了极大的关注<sup>[3]</sup>。

## 1 研究区域

云南公路网规划表明, 在实施西部大开发战略期间, 至 2020 年, 将继续投入巨资, 建设未来干线公路网, 使全省的高速公路总里程达到 6000km。云南省西南纵向岭谷区作为连接东南亚、南亚的必经之路, 交通区位非常重要, 在澜沧江流域公路运输占社会总运量的 93%。作为公路运输大省, 目前国际大通道等交通要道的修建, 势必进一步带动其他道路的发展, 从而加剧了对生态系统的影响, 而澜沧江流域由于具有独特的自然环境和生态系统特征, 使得在该区研究道路建设作用具有重要现实意义, 澜沧江流域各级道路长度分别为高速路: 783km; 一级路: 2268km; 二级路: 2792km; 三级路: 3916km; 规划高等级路: 1981km。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据及来源

本研究所采用的道路矢量数据利用最新的 1:180 万云南省交通图 (2003) 数字化, 以 1:25 万中国基础地理信息中中国公路图、中国水系图和中国居民点图作为参考; 生态系统类型图利用 2002 年 1:10 万澜沧江土地利用类型图重新分类, 精度在 95% 以上; 土壤侵蚀图图 1:10 万澜沧江土壤侵蚀图<sup>[3]</sup>。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 缓冲区分析** 缓冲区分析已经成为辨析人类干扰造成生态系统变化格局分析的主要方法之一。本研究对于各级道路影响生态系统面积的范围大小采用国际上常用标准 (表 1), 表中的缓冲带数值是没有加入道路本身宽度的单侧宽度<sup>[15]</sup>。在 GIS 支撑下, 构建各级道路的缓冲带, 然后用其统计功能估算各级道路影响各类生态系统的面积。研究主要涉及四级公路以上的包括支线公路的大型道路工程。

表 1 各级道路特征及缓冲带宽度 (李双成等, 2004)

Tab. 1 The features and buffer widths of different road classes

| 道路级别 | 道路特征                                  | 缓冲带宽度(m) |
|------|---------------------------------------|----------|
| 高速公路 | 四个或四个以上车道, 中央有分割带, 日交通量 25000 辆以上。    | 1000     |
| 一级公路 | 连接重要政治经济文化中心的干线公路, 日交通量 1000~25000 辆。 | 500      |
| 二级公路 | 连接政治, 经济中心的干线公路, 日交通量 2000~10000 辆。   | 250      |
| 三级公路 | 沟通县或者县以上城市的支线公路, 日交通量 2000~10000 辆。   | 100      |

**2.2.2 情景分析** 生态系统类型分成林地、灌丛、草地、其他用地、建设用地、水田、旱地 7 类, 然后用融合命令, 分别设置无道路、三级路、二级路、一级路、在建高速路、规划高速路 6 种情景, 每种情景叠加上一种情景的道路网络, 这和普遍意义上道路类型的建设和发展一致。再用 FragStat 3.3 统计由于道路修建而引起的生态系统及其生境破碎化特征。

## 3 研究结果

### 3.1 道路建设和规划对生态系统的影响

利用 ArcGIS 中的 Buffer 命令, 按照表 1 中缓冲带宽度数值对不同级别的道路生成多边形缓冲带图层。然后用 Clip 命令, 分别与 7 类生态系统类型图切割, 得到不同级别道

路影响生态系统面积的图层，同时也可以计算出不同生态系统类型的面积（图 1），缓冲区大致可以被认为是不同道路类型的综合生态影响域。

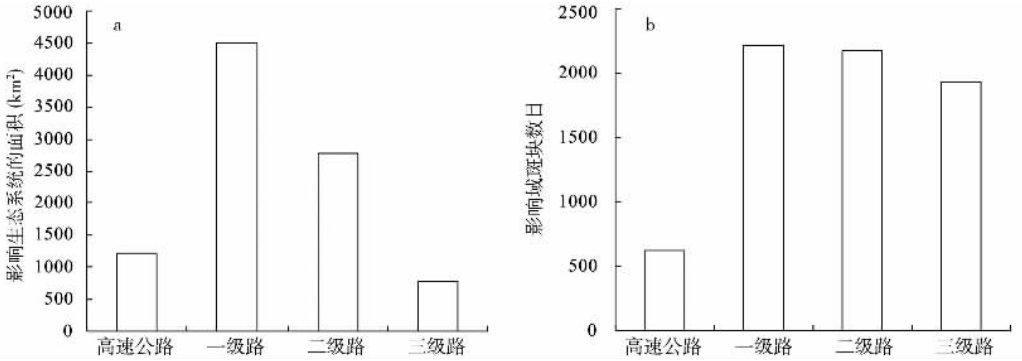


图 1 不同道路类型影响的生态系统面积 (a) 和斑块数目 (b)

Fig. 1 The ecosystem area and patch number influenced by different road types

比较各级道路影响生态系统面积大小（图 1a）可以看出，在澜沧江流域，以一级路影响的生态系统面积最大，其次为二级路和高速路，三级路最低。这主要和道路的长度和缓冲区设定的距离有关系，三级路虽然最长，但是其生态影响程度仍然小于其他路。图 1b 显示，道路修建影响的斑块数目则为一级路 > 二级路 > 三级路 > 高速路，说明总体上一级路修建对澜沧江流域景观的影响程度最大。

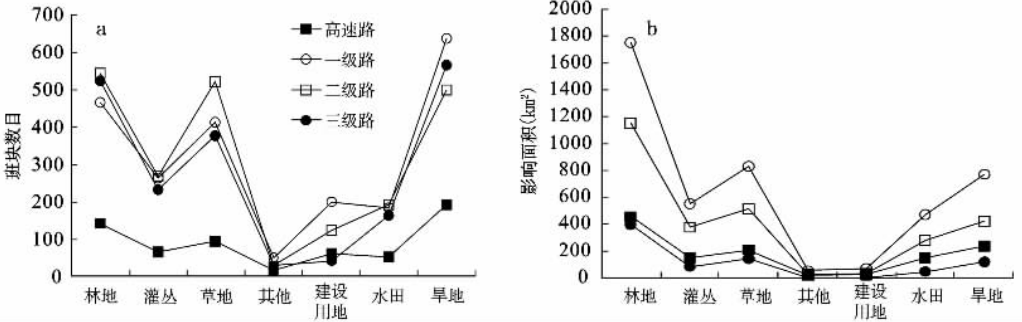


图 2 道路对不同土地利用类型斑块数目 (a) 和面积 (b) 的比较

Fig. 2 Comparison of patch number and area of different land use types affected by road construction

图 2a 显示的是不同道路修建和规划对各种土地利用类型影响的斑块数目的差异，图 2b 是影响不同类型的面积之间的对比。从图中可知，总体上对于各种道路影响最大的斑块面积为林地，其次为草地，旱地和灌丛；而斑块数目为旱地 > 林地 > 草地，且不同道路影响趋势相近。从澜沧江流域的现实情况来看，由于澜沧江流域地势起伏较大，道路穿越较多的林地和灌丛，而同时山区旱地由于地貌复杂性，其斑块化分布较为明显，所以总体上，影响旱地斑块数目最多。同时也可以看出，影响的建筑用地类型虽然面积不大，但斑块数目较大，说明建设用地较之其他土地类型来说，在道路两侧呈现分散式分布。

### 3.2 道路建设和规划对生态系统破碎化

为了反映道路网络与生态系统破碎化之间的关系，选取 3 个景观指数从道路切割形成的斑块数量和斑块形状两个方面来定量表征道路建设对于生态系统及其生境破碎化的影响<sup>[16]</sup>，分别为：斑块数目、平均斑块大小和斑块平均分维数。从景观指数的地学意义上

说，斑块数目和平均斑块大小反映了道路切割后破碎化程度，分维数 ( $1 < D < 2$ ) 是建立在单个斑块的基础上，分维数值越大，反映斑块的形状越复杂，当  $D=1$  时，则斑块形状为简单的欧几里德正方形。而斑块平均分维数则表征了道路切割后斑块的形状复杂程度。

图 3 表征了 6 种研究情景下景观指数的变化情况，为了图形表示方便，斑块数目利用其对数值。从图 3 三个指数的变化情况来看，没有道路的情景下，斑块的分维数为 1.06，说明复杂情况较低，而道路修建后，分维数增加到 1.2 以上，说明随着道路等级的增加和道路建设规划方案的实施，生态系统的破碎化程度会明显增加。具体可以表现在斑块数目有所增多，平均斑块大小减小。情景分析也表明，三级道路的

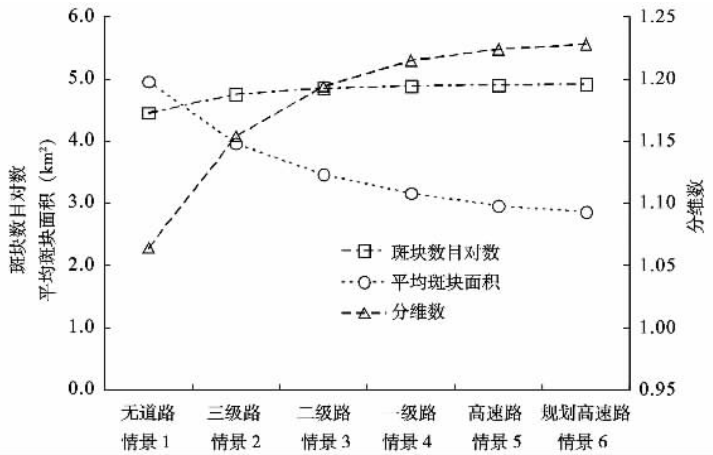


图 3 不同道路情景下斑块数目、面积和分维数的变化趋势  
Fig. 3 The patch number, area and fractal dimension change under different road scenarios

的修建对区域斑块数目和面积的变化贡献率最大，而总体上高速公路建设贡献率较小。这是由于三级道路已经基本呈现出网络化状况，而其他道路在澜沧江流域仍然为线状分布的格局。

### 3.3 不同道路类型影响域土壤侵蚀强度比较

为更好地分析不同道路类型下，道路建设所带来的潜在的生态效应，利用澜沧江土壤侵蚀现状图，通过缓冲区分析，对道路影响域的土壤侵蚀的类型和面积进行进一步的分析。图 4 显示的是澜沧江流域不同道路土壤侵蚀的分级面积情况。结果表明，一级路影响的土壤侵蚀面积最大，其次为二级路。从侵蚀类型来看，中度侵蚀和轻度侵蚀占的比例最大。而对于整个澜沧江流域来说，高速公路所影响的土壤侵蚀面积不大。土壤侵蚀的面积和强度取决于道路影响域的大小和道路影响域内生态环境状况。从相对比例分析，不同道

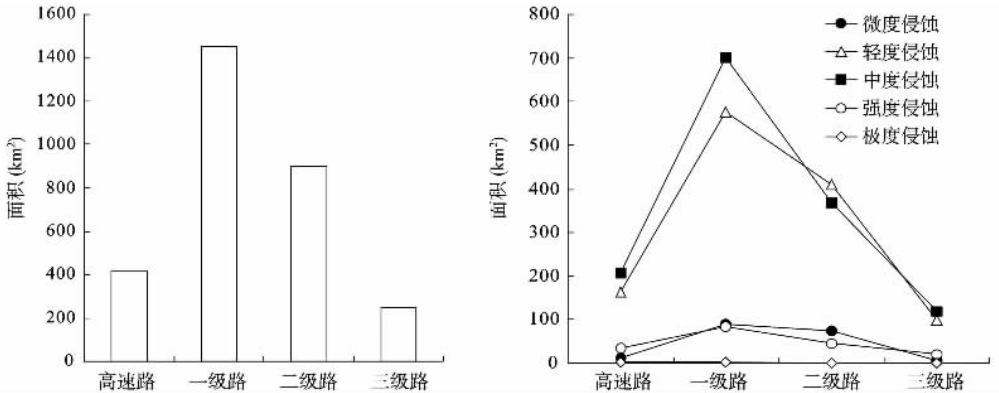


图 4 不同道路类型的土壤侵蚀面积和类型比较

Fig. 4 Comparison of soil eroded area and types under different road types

路影响域内土壤侵蚀强度分布差异不大。

## 4 结论和讨论

道路网络所产生的生态效应是道路生态学研究热点，特别是重大道路工程的生态影响目前是各方关注的焦点。本研究从澜沧江流域典型区入手，针对公路建设的问题，从区域尺度研究道路建设和生态系统破碎化的定量关系，并利用情景分析，研究了道路规划所带来的生态影响，利用土壤侵蚀的空间分布特征，量化比较了不同道路所产生的生态风险指数。结果表明：对于整个澜沧江流域来说，一级路影响面积最大，其次为二级路，三级路最小，而斑块数目则为一级路最大，二级路、三级路接近，高速路影响的数目最少；影响面积大小为林地最大，其次为草地，影响斑块数目以旱地最高，其次为林地，不同道路影响生态系统类型的趋势相近，情景分析表明，道路建设会造成道路影响域内斑块平均面积减少，斑块数目略有增加，平均分维数增加。土壤侵蚀主要以中度侵蚀为主，一级路所占比例较高。

李双成等<sup>[15]</sup>评价了中国道路网络对生态系统的影响，采用植被图为 1:400 万的空间数据，本研究采用 1:10 万土地利用类型图，对于不同分辨率的空间数据来说，分辨率的大小会对结果影响很大，分辨率太高，斑块本身破碎化程度高，道路的切割效应被掩盖，则可能得不到差异，分辨率太低，可能结果会稍微偏大，合适的尺度对于研究道路和生态系统破碎化具有重要意义。由于破碎化程度所采用的道路缓冲带宽度以及道路级别上的差异，不同国家或地区估算破碎化或者格局分析的结果有所不同。本研究关注的是澜沧江流域重大工程的建设，所以等外道路没有包括在内，会对结果造成一定的影响，但较之中国全境，澜沧江流域利用 TM 影像分辨率比较合适，而且研究集中在道路影响域的探讨，结果具有参考意义。

### 参考文献：

- [1] Forman R T T. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*, 2000, 14: 31~35.
- [2] 宗跃光, 等. 道路生态学研究进展. *生态学报*, 2003, 23(11): 2396~2405.
- [3] 刘世梁, 等. 道路对景观的影响及其生态风险评价——以澜沧江流域为例. *生态学杂志*, 2005, 24(8): 897~901.
- [4] 摆万奇, 等. 大渡河上游地区土地利用动态模拟分析. *地理研究*, 2005, 24(2): 206~213.
- [5] 李月辉, 等. 道路生态研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 447~452.
- [6] 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. *Biological Conservation*, 2002, 103: 209~225.
- [7] Merrill T, Mattson D J, Wrigley R G, *et al.* Defining landscapes suitable for restoration of grizzly bears *Ursus arctos* in Idaho. *Biological Conservation*, 1999, 87: 231~248.
- [8] Forman R T T, *et al.* Road traffic and nearby grassland bird patterns in a suburbanizing landscape. *Environmental Management*, 2000, 29: 782~800.
- [9] Forman R T T, Deblinger R D. The ecological road effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conservation Biology*, 2000, 14: 36~46.
- [10] 蔡志洲. 论公路建设的生态影响. *公路交通科技*, 1995, 12(1): 43~48.
- [11] 张锦铨, 等. 青藏公路对区域土地利用和景观格局的影响——以格尔木至唐古拉山段为例. *地理学报*, 2002, 57(3): 253~266.
- [12] 史培军, 等. 深圳市土地利用变化机制分析. *地理学报*, 2000, 55(2): 151~160.
- [13] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. *生态学报*, 1999, 19(1): 8~15.

- [14] 宗跃光,等. 大都市空间扩展的廊道效应与景观结构优化——以北京市为例. 地理研究,1998,17(2):119~125.  
[15] 李双成,等. 中国道路网与生态系统破碎化关系统计分析. 地理科学进展,2004,23(5):77~85.

## Ecological effects of different road classes on landscape in the Lancang River valley

LIU Shi-liang, WEN Min-xia, CUI Bao-shan

(School of Environment, State Key Laboratory of Water Environment Simulation,  
Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** The existence and extension of road networks affect adjacent landscape patterns and processes. The direct or indirect influences of ecological process caused by roads can extend from population to landscape level. Road development is a primary mechanism of fragmentation, removing original land cover, creating edge habitat, altering landscape structure and function, and increasing access for humans. Nowadays road ecology becomes a newly-emerging field in the ecologic research. Studies of the road effects on population and ecosystems were carried out in the past few years. But large scale research beyond ecosystem level has just been initiated. As series of potential ecological effects are brought out by landscape fragmentation due to road construction, it is significant to quantify the fragmentation features for management of road and its surrounding ecosystem. Meanwhile the regional ecological security attracts more and more attention as the road network expands. This paper focuses on the Lancang River valley and analyzes the relationship between ecosystem fragmentation and road construction and planning using GIS and FragStat software. By scenario analysis, the paper got the landscape change with seven road construction scenarios. The results show that the first level roads affect the largest area, next is the second level while the third level roads affect the least. The sequence of affected patch number is first level road > second level road > third level road > expressway. For the different ecosystems, the effect shows similar tendency and the area order is forest > grassland > arable land > shrub land > paddy field > construction land and patch number is arable land > forest. Scenario analysis showed that in the Lancang River valley road network development results in the increase of patch complexity and landscape fragmentation, also the trend suggests that the third level roads have larger effect on fragmentation. The average patch area decreases while the patch number and fractal dimension increase with the actualization of road construction and planning. But the expressway affects little in general. The results suggest that expressways may affect the larger ecosystem area, but they have far less effect on regional landscape fragmentation. Soil eroded area sequence is first level road > second level road > expressway > third level road and the erosion intensity mainly exhibits middle level.

**Key words:** road networks; ecological effect; landscape; Lancang River valley