

道路网络扩展对区域生态系统的影响 ——以景洪市纵向岭谷区为例

刘世梁, 温敏霞, 崔保山, 董世魁

(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: 道路网络的存在和扩展影响着周边景观的生态格局和过程, 进而影响区域生态安全, 定量表达道路影响域生态系统变化对生态系统管理具有重要意义。选取景洪市为研究区, 利用缓冲区分析、对比分析和情景分析, 研究道路与生态系统格局变化的关系, 进而揭示不同道路类型对区域生态安全的影响。结果表明: 近 20a 研究区林地、灌丛有所减少, 旱地 and 建设用地增加显著, 而道路为显著的驱动因子。景观的多样性、均匀度、斑块密度和人工干扰指数也随着道路缓冲距离增加而降低。道路影响域内林地受道路影响最大, 其次为草地, 旱地或灌丛, 而旱地的斑块数目受低等级道路影响最多, 其他等级林地数目最多。情景分析表明, 随着道路网络的扩展, 生态系统分维数、斑块数目增加, 平均斑块面积减少, 显示破碎化程度加剧, 而低等级道路对区域景观格局的变化贡献率最大。

关键词: 道路网络; 生态效应; 景观格局; 纵向岭谷区; 景洪市

文章编号: 1000-0933 (2006) 09-3018-07 **中图分类号:** Q14, X144 **文献标识码:** A

Effects of road networks on regional ecosystems in Southwest mountain area : A case study in Jinhong of Longitudinal Range-Gorge Region

LIU Shi-Liang, WEN Min-Xia, CUI Bao-Shan, DONG Shi-Kui (School of Environment, State Key Laboratory of Water Environment Simulation, Beijing Normal University, Beijing 100875, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 3018 ~ 3024.

Abstract: The direct or indirect influences of ecological process caused by roads can extend from population to landscape level. On the large scale, the influences are created and expanded by the road networks. The existence and extension of road networks affect adjacent landscape pattern and process within the road effect zone. The landscape fragmentation also brings pressure on regional ecological security. Considering the particular natural environment and ecological characteristics of Longitudinal Range-Gorge Region in Lancangjiang River valley of Yunnan Province, estimation of road effects on ecosystems in the region will be more reasonable and practical. The paper takes Jinghong county as an example to quantify the landscape pattern affected by road construction and to assess its effect on regional ecosystem. Buffer, comparison and scenario analysis were used to elucidate the effect of road on landscape pattern and its ecological risk. Using GIS software, road buffers were divided into different classes and the buffers can be considered as road effect zone. Seven scenarios were set as no road, rural road networks overlay, third class road overlay, second class road overlay, first class road overlay, expressway under construction overlay, and planning first class road overlay. Land use and landscape pattern index were compared to discern the changes under different scenarios and in different buffers. The results showed that forest and shrub decreased while farmland and constructed land increased in the past 20 years in the studied area. In addition, the land use change rate increased near roads while landscape pattern diversity index, evenness index, patch density, and human-disturbing index decreased. Existence of road networks has been potential driving force to region

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973 项目) 资助项目 (2003CB415104); 国家自然科学基金资助项目 (40501067)

收稿日期: 2005-12-19; **修订日期:** 2006-06-15

作者简介: 刘世梁 (1976 ~), 男, 山东沂水人, 博士, 讲师, 主要从事土壤学、土地利用和景观生态研究。

Foundation item: The project was supported by National Key and Important for Basic Research of China (No. 2003CB415104) and the National Natural Sciences Foundation of China (No. 40501067)

Received date: 2005-12-19; **Accepted date:** 2006-06-15

Biography: LIU Shi-Liang, Ph. D., mainly engaged in soil science, land use change and landscape ecology. E-mail: shiliangliu@163.com

land use change. The analysis of land use in road effect zone showed that forests were mostly affected by road, followed by grassland, farmland or shrub land. The largest patch number affected is farmland near the low-level roads while it is forest near high-level road. Scenario analysis showed that the fractal dimension index, patch number, and average patch area decreased with development of road networks. Different road networks showed that low-level roads such as rural roads and third class roads contributed most to the regional patch number and area change. In general, expressway plays little role on the landscape pattern change.

Key words: road networks; ecological effect; landscape pattern; Longitudinal Range Gorge Region; Jinghong

道路贯穿于各类景观,道路分布范围之广和发展速度之快,是其他建设工程不能比拟的,道路所产生的生态效应因此越来越受到重视,道路生态学也成为生态学重要的前沿领域^[1~4]。有研究表明,道路对生态系统的影响至少涉及到全球陆地的 15%~20%,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的研究^[5~9],对生态系统以上尺度影响研究尚处于起步阶段^[10]。道路所产生的生态过程分为直接和间接影响,尺度也从种群一直到景观^[10~13]。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格局变化上^[12]。道路作为一种干扰体,既可改变景观格局,同时也受制于景观格局。由于道路的影响范围大、因素多且难于弥补和预测,道路影响域景观格局和过程及其潜在和累积性的生态影响研究也受到了极大的关注^[10]。

目前国内对道路的生态效应研究多集中概念或者框架上,景观以上尺度研究缺乏相应的案例分析,且对道路网络影响区域生态系统的认识不够深入^[10]。同时,道路是人类活动的通道,影响着人类活动的分布格局,也影响着周边土地覆被的变化。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,往往忽视了不同等级道路对景观格局的影响。探索道路网络与生态系统及其生境破碎化的内在联系、评价道路的生态累积效应,有助于对道路及其周边生态系统管理提供科学依据^[14]。

截止 2005 底,中国公路总里程为 193×10^4 km,其中高速公路 4.1×10^4 km,国道 12×10^4 km,县乡公路 133.69×10^4 km,99.5%的乡镇和 92.3%行政村已通公路。根据中国公路建设战略规划,将在 2050 年左右基本实现公路交通现代化,公路总里程增长为 400×10^4 km。按照这一战略进程。中国公路通车总里程到 2010 年将达到 200×10^4 km,其中高速公路达到 3.5×10^4 km^[14]。在实施西部大开发战略期间,云南省作为连接东南亚、南亚的便捷通道,公路运输占社会总运量的 93%,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,而我国澜沧江流域纵向岭谷区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和规划的生态影响具有重要现实意义^[10]。

1 研究区域

云南省公路网规划表明,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。目前云南省正在建设的两条国际大通道,都穿越纵向岭谷区,本研究选择昆明-曼谷高速公路经过的景洪市为案例区。景洪位于云南南部,西双版纳傣族自治州中部,地跨东经 $100^{\circ}25' \sim 101^{\circ}31'$,北纬 $21^{\circ}27' \sim 22^{\circ}36'$ 之间,总面积 6959km^2 ,景洪市地理位置特殊,是亚热带向北热带的过渡地区,具有独特的南亚季风气候,加上本地区复杂的地形等,形成了多种生态系统类型。该市是中国进入东南亚各国的主要通道和枢纽,区位优势显著,交通建设发展迅速。加之该区旅游业发展和水电工程的建设,经济发展较快,人类干扰增加,其中多条道路也穿越国家级自然保护区,道路网络和该区生态安全的关系更为重要。景洪市道路按照级别可以分为在建高速路、规划一级路、一级路、二级路、三级路和四级及以下道路,各级道路的长度分别为:76,48,160,130,89,2753km。

2 数据与方法

2.1 数据及来源

本研究采用的规划道路矢量数据利用最新的 1:1000000 云南省交通图数字化,以 1:250000 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。生态系统分布特征利用 1980 年和 2000 年两个时期的遥感影像所提取的 1:100000 土地覆被类型图,土壤侵蚀图 1:100000 澜沧江土壤侵蚀图^[3]。

2.2 研究方法

(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^[15]。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,高速公路、一级、二级、三级公路、四级公路及以下分别为 1000、500、250、100m 和 25m^[14],缓冲带数值是没有加入道路本身宽度的单侧宽度^[14]。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。为研究道路网络和景观格局的影响,建立缓冲距离和景观格局变化的定量化联系,利用景观格局分析软件 Fragstat3.3 计算两期生态系统类型变化的景观格局指数,同时计算道路影响域人工干扰指数^[16]。

(2) 情景分析 利用地理信息系统软件,将生态系统类型重新分类,分成林地、灌丛、草地、建设用地、水田、旱地、其他用地 7 类,然后用融合命令,分别设置无道路、四级路及以下,三级路、二级路、一级路、在建高速公路、规划一级路 7 种情景,每种情景叠加一种情景的道路网络,这和普遍意义上道路类型的发展一致。再利用景观格局软件 FragStat 3.3 计算由于道路修建而引起的生态系统变化及其生境破碎化特征。

3 研究结果

3.1 道路建设对景洪市生态系统变化的驱动分析

选择县域和研究区内道路 500m、1000m 缓冲区的生态系统变化进行对比,利用两期生态系统类型面积之比表示土地变化的趋势(图 1)。结果表明,1980~2000 年期间景洪市生态系统的动态变化的特点是:林地(郁闭度 > 30%)、灌丛、疏林地、其他林地都有所减少,绝对面积来看,灌丛面积变化最大,灌丛的减少跟该地区盲目拓展耕地、橡胶林种植等有显著关系,相对的,旱地、建设用地增加比较显著,相对值超过 100%;对比不同区域生态系统变化率,500m 和 1000m 缓冲区内不同生态系统类型变化整体趋势大致相同,但 500m 缓冲区内建设用地变化要大于 1000m 缓冲区和整个研究区的变化,这说明距离道路的远近和生态系统变化速率有一定关联,较长的时期上,表现在区域土地覆被的转变上。对于非封闭的公路来说,人类活动和土地利用沿道路两侧的分布是显而易见的。

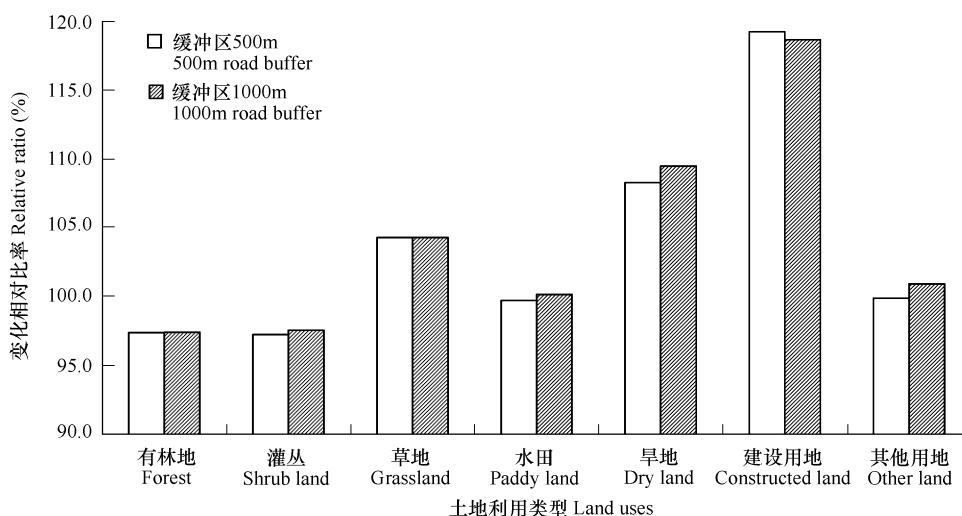


图 1 不同道路缓冲区内生态系统面积变化率比较

Fig. 1 Land use change rate in different road buffers

区域景观格局的多样性指数变化代表了区域景观格局的变化过程^[16],选取 Shannon 多样性指数、Simpson 均匀度指数、斑块密度和人工干扰指数研究不同缓冲区内生态系统类型的格局异质性,结果如图 3 所示。多样性指数变化表明:越靠近道路,生态系统类型多样性越大(图 3a),Simpson 均匀度指数同样随着道路缓冲区

距离的增加数值降低(图 3b),斑块密度随着缓冲距离的增加呈指数序列降低(图 3c)。人工干扰指数也表明距离道路越远,干扰指数越低(图 3d)。

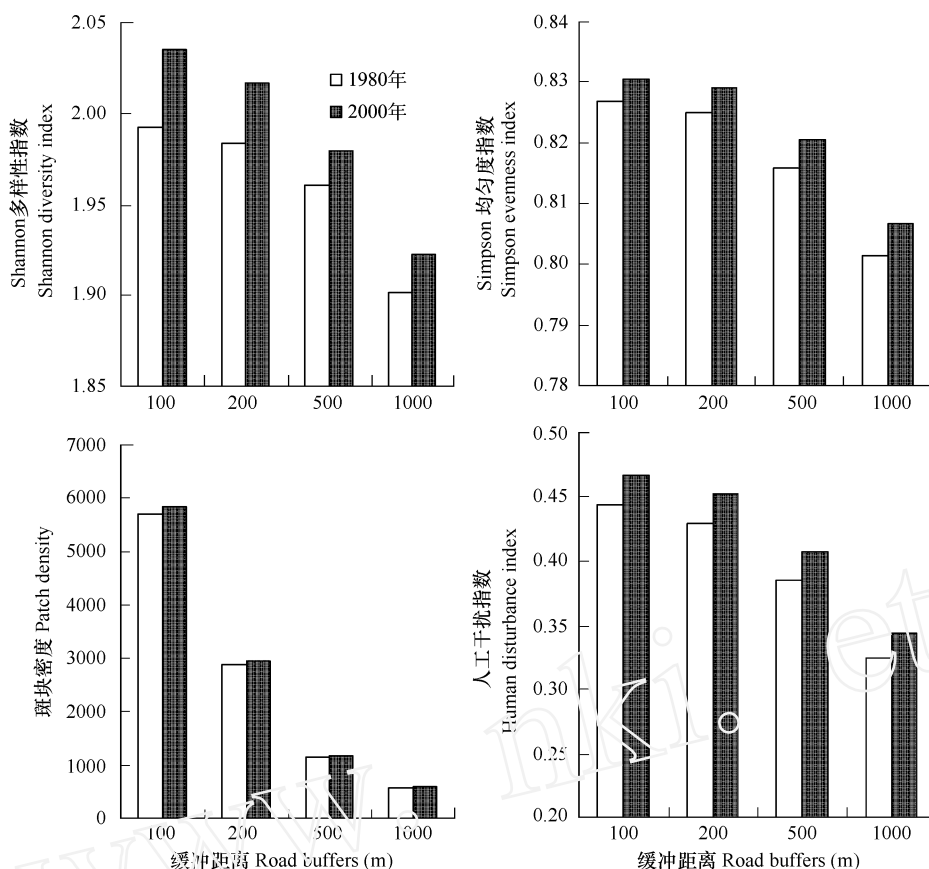


图2 不同道路缓冲区内景观格局指数和人工干扰强度的变化

Fig.2 Trends of landscape pattern index and human disturbance change in different road buffers

对比不同时期的差异,结果表明,以上4个指数都是2000年大于1980年,但斑块密度在两期差异不是很大。图1生态系统变化率和图2景观格局指数都表明,道路网络对区域生态系统具有明显的驱动作用,并且使得生态系统的格局发生显著的变化,且道路缓冲距离的远近和格局的变化有明显的关系。

3.2 道路建设和规划对生态系统的影响及破碎化分析

利用 ArcGIS 中的 Buffer 命令,按照不同道路等级缓冲带宽度数值对道路生成多边形缓冲带图层。然后用 Clip 命令,分别与7类植被图切割,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。从表1可以看出,景洪市一级路影响的生态系统面积最大,其次为四级路及以下级别和在建高速路,最小的为三级路和规划一级路,这主要和道路的长度和缓冲区设定的距离有关系,虽然四级路最长,但其生态影响的面积仍然小于一级路。表2结果表明,四级路所影响到的生态系统斑块数目最多,而在建高速路和三级路较少,规划一级路最少。

对比影响域内生态类型的差异可以看出,总体来说,对于各级道路来说,影响最大的斑块面积为林地,其次为草地,旱地或灌丛;而低等级道路周边斑块数目最多的为旱地,其他等级数目最多的为林地。从景洪市的现实情况来看,由于景洪市地势起伏较大,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,而低等级道路和旱地的分布具有很大的相关性,所以总体上,低等级道路影响旱地斑块数目较多。

为了反映道路网络与生态系统破碎化之间的关系,根据最大代表性与最小冗余性相结合的原则。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^[14]。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,斑块数目和平均斑块大小反映了道路切割后破碎化程度,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。

表 1 道路网络影响域内生态系统斑块面积(km²)比较

Table 1 The patch area of different ecosystems in the road effect zone								
道路类型 Road type	林地 Forest land	灌丛 Shrub land	草地 Grassland	其他用地 Other land	建设用地 Construction land	水田 Paddy land	旱地 Dry land	总计 Sum
在建高速路 Expressway under construction	81.1	10.2	21.5	1.3	3.3	18.5	17.0	152.8
规划一级路 Planning first class road	31.1	3.6	1.6	0.3	1.2	2.2	4.3	44.3
一级路 First class road	148.7	20.5	25.0	0.9	6.4	22.3	38.3	262.2
二级路 Second class road	75.5	5.6	19.0	0.3	3.1	13.8	12.3	129.7
三级路 Third class road	11.8	1.3	0.4	0.3	0.2	1.6	2.3	17.9
四级路及以下 Rural road	48.6	47.3	19.9	1.5	2.5	10.3	25.1	155.2

表 2 道路网络影响域内生态系统斑块数目比较

Table 2 The patch number of different ecosystems in the road effect zone								
道路类型 Road type	林地 Forest land	灌丛 Shrub land	草地 Grassland	其他用地 Other land	建设用地 Construction land	水田 Paddy land	旱地 Dry land	总计 Sum
在建高速路 Expressway under construction	21	6	2	3	4	4	13	53
规划一级路 Planning first class road	11	4	5	1	2	3	7	33
一级路 First class road	30	11	14	3	7	5	29	99
二级路 Second class road	51	14	23	3	22	15	43	173
三级路 Third class road	11	7	3	3	4	6	19	53
四级路及以下 Rural road	284	105	260	12	67	41	352	1121

图 3 表征了 7 种研究情景下景观格局指数的变化情况,为了图形显示直观,斑块数目利用其对数值。从图 3 的 3 个指数的变化情况来看,在没有道路的情景下,研究区斑块的分维数为 1.07,说明复杂情况较低,而存在道路网络后,分维数增加到 1.2,说明随着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。反映在斑块上,可以看出斑块数目增加显著,平均斑块面积减小。情景分析对比表明,低等级道路的存在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。这是由于低等级道路呈现出网络化状况,而其他高等级道路在景洪市仍然为线状分布的格局,对道路的切割作用与区域生态系统破碎化影响较小。

以往研究往往低估了不同道路类型的生态影响,本案例分析也表明道路网络的形成使得其对景观的影响强度迅速加强。低等级道路加剧了区域生态系统的破碎化程度。也有研究表明道路密度和土地利用类型、房屋密度和土壤类型相关^[12],研究考虑了低等级道路的影响。这也说明了人类干扰活动的分布和不同的道路等级、土地类型等关系密切。

李双成等^[14]在评价中国道路网络对生态系统影响的研究中,采用了 1 400 万的植被类型图,本研究由于面积较小,采用 1 10 万土地利用类型图研究区,从这个意义上,1M 影像分辨率比较合适,结果具有参考意义。关于道路对区域景观影响的研究,对结果大小的影响主要有以下 3 个方面。第一,景观背景的分辨率,主要是区域植被格局或者土地利用格局的分辨率或者比例尺。如果比例尺太小,在研究范围相同的时候,对于切割作用来说,则得到的变化会偏大,而如比例尺太大,可能得不到区域道路对生态系统切割影响的特征。第二,道路网络的完备性。对于道路网络的特征来说,也有些研究利用遥感影像来提取道路网络,如边缘探测与追踪、线性滤波、空间关系的道路特征识别,基于知识的道路网络提取以及数学形态学识别等方法,但由于道路光谱与空间特征随着道路的延伸而不断发生变化,道路特征的提取仍存在不同的缺陷。一般来说,利用已有的道路交通图进行数字化是比较合适的方法,但是道路交通图的比例尺也应该和景观背景的比例尺相同或者接近。第三,道路级别分类上差异及其道路缓冲带宽度的设定,本研究利用国际上对不同道路等级的缓冲范围进行的设定,而实际情况下,道路影响域是不规则的,而且也是变化的,所以缓冲距离的合适大小成为影响结果的重要因素。

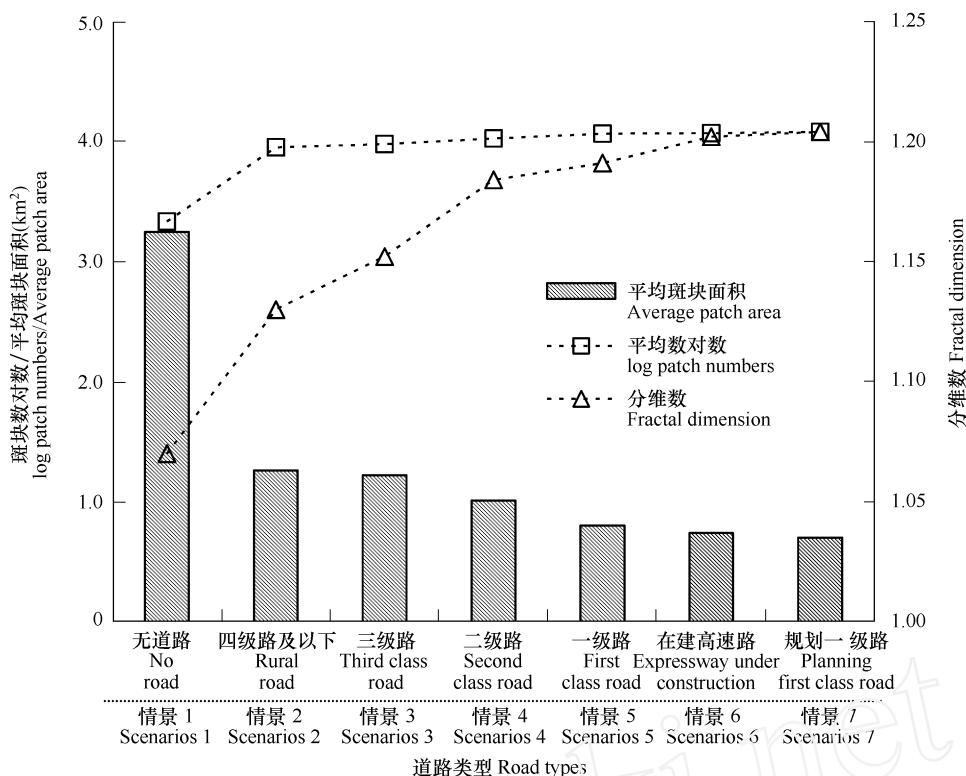


图3 不同道路扩展情景下生态系统斑块数目、面积和分维数的趋势

Fig. 3 The change trend of patch number, patch area and fractal dimension under different road construction scenarios

4 结论

本文以澜沧江纵向岭谷区景洪市作为研究区域,针对道路对区域生态系统的影响和道路网络对区域景观格局的影响做了案例分析。综合以上的结果,可以获得以下几点认识:第一,道路对区域生态系统变化具有较强的驱动作用,结果表明不同道路缓冲区近 20a 的生态系统变化情况存在较大的差异,而且 500m 缓冲区的土地利用变化要大于 1000m 缓冲区,而且在景观尺度上,不同时期土地利用的格局变化差异也较大,斑块密度、多样性指数和人工干扰强度都是 2000 年大约 1980 年;第二,不同道路级别对区域景观变化的作用存在较大的差异,不仅各生态影响域内生态系统的类型和面积存在较大的差异,而且情景分析也表明,道路网络的形成和发展影响到了区域的景观格局。从变化趋势来看,低等级道路对区域景观的变化影响最显著。对于景洪市来说,低等级道路由于网络化,而且有较大的长度,影响的斑块数目最多,且多为旱地,而其他道路主要影响到林地,草地或者灌丛。

References:

- [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] Forman R T T. Road ecology's promise: What's around the bend? *Environment*, 2004, 46 (4): 8 ~ 21.
- [3] Li Y H, Hu Y M, Li X Z. A review on road ecology. *Chineses Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (3): 447 ~ 452.
- [4] Zong Y G, Zhou S Y, Peng P, *et al.* Perspective of road ecology development. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (11): 2396 ~ 2405.
- [5] 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.
- [6] Merrill T, Mattson D J, Whigby R G, *et al.* Defining landscapes suitable for restoration of grizzly bears *Ursus arctos* in Idaho. *Biological Conservation*, 1999, 87: 231 ~ 248.
- [7] Forman R T T, Reineking B, Hersperger A M. Road traffic and nearby grassland bird patterns in a suburbanizing landscape. *Environmental Management*, 2000, 29: 782 ~ 800.

- [8] Forman R T T, Deblinger R D. The ecological road effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conservation Biology*, 2000, 14:36 ~ 46.
- [9] Hansen M J, Cleverger A P. The influence of disturbance and habitat on the presence of non-native plant species along transport corridors. *Biological Conservation*, 2005, 125 (2): 249 ~ 259.
- [10] Liu S L, Yand Z F, Cui B S. Road effect on landscape and its ecological risk assessment: case study of Lancangjiang River valley. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24 (8): 897 ~ 901.
- [11] Hawbaker T J, Radeloff V C. Roads and Landscape Pattern in Northern Wisconsin Based on a Comparison of Four Road Data Sources. *Conservation Biology*, 2004, 18(5): 1233 ~ 1244.
- [12] Hawbaker T J, Radeloff V C, Hammer R B, *et al.* Road density and landscape pattern in relation to housing density, and ownership, land cover, and soils. *Landscape Ecology*, 2005, 20 (5): 609 ~ 625.
- [13] Schweitzer L. Road ecology: Science and solutions. *Environmental Ethics*, 2005, 27 (1): 109 ~ 112.
- [14] Li S C, Xu Y Q, Zhou Q F, *et al.* Statistical Analysis on the Relationship between Road Network and Ecosystem Fragmentation in China. *Progress in Geography*, 2004, 23 (5): 77 ~ 85.
- [15] Zhang Y L, Yan J Z, Liu L S, *et al.* Impact of Qinghai-Xizang Highway on Land Use and Landscape Pattern Change: from Golmud to Tanggula Pass. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(3): 253 ~ 266.
- [16] Xiao D N. Natural Resources and Regional Exploitation in the Liaohe River Delta. *Journal of Natural Resources*, 1994, 9(1): 43 ~ 50.
- [17] Chen P, Pan X L. Ecological risk analysis of regional landscape in inland river watershed of arid area —— a case study of Sangong River Basin in Fukang. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22 (4): 116 ~ 120.
- [18] Zou Y R, Zhang Z X, Yang C J, *et al.* Analysis of soil erosion status of China land resource. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15 (3): 44 ~ 47.

参考文献:

- [3] 李月辉, 胡远满, 李秀珍, 等. 道路生态研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14 (3): 447 ~ 452.
- [4] 宗跃光, 周尚意, 彭萍, 等. 道路生态学研究进展. *生态学报*, 2003, 23 (11): 2396 ~ 2405.
- [10] 刘世梁, 杨志峰, 崔保山, 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.
- [14] 李双成, 许月卿, 周巧富, 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.
- [15] 张镜铨, 阎建忠, 刘林山, 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.
- [16] 肖笃宁. 辽河三角洲的自然资源与区域开发. *自然资源学报*, 1994, 9 (1): 43 ~ 50.
- [17] 陈鹏, 潘晓玲. 干旱区内陆流域区域景观生态风险分析 ——以阜康三工河流域为例. *生态学杂志*, 2003, 22 (4): 116 ~ 120.
- [18] 邹亚荣, 张增祥, 杨存建, 等. 中国土地资源的土壤侵蚀状况分析. *水土保持学报*, 2001, 15 (3): 44 ~ 47.