

# 不同等级道路对玛纳斯河流域土地利用 与景观格局的影响

于涛<sup>1,2</sup>, 包安明<sup>1</sup>, 刘铁<sup>1</sup>, 郭浩<sup>1,2</sup>, 郑国雄<sup>1,2</sup>, 陈桃<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 为揭示不同等级道路对干旱半干旱地区土地利用与景观格局变化的作用过程与机制, 以玛纳斯河流域为例, 选取 1976 年玛纳斯河流域不同等级道路为研究对象, 基于 1976 年和 2015 年两期土地利用分类数据, 利用缓冲区分析方法结合土地利用动态度、土地利用程度综合指数以及景观指数, 分析近 40 年间各等级道路缓冲区及缓冲区梯度上土地利用与景观格局的变化规律。结果表明: (1) 近 40 年来玛纳斯河流域各等级道路对流域土地利用变化影响显著且存在梯度效应, 即距离道路越远, 受各等级道路的扰动就越小; (2) 各等级道路对周边整体土地利用变化的影响程度依次为: 高速公路与国道 > 省道与专用道路 > 县道与乡道; (3) 高速公路与国道、省道与专用道路、县道与乡道分别对其缓冲区范围内林地、水域和建设用地的土地利用变化影响最大; (4) 近 40 年来各等级道路不同缓冲区范围内景观破碎度和异质性均有所增加, 而景观蔓延度却有所降低; (5) 高速公路与国道、省道与专用道路、县道与乡道分别对其两侧 3600 m、600 m 和 300 m 范围内景观的切割作用最为强烈, 且距离道路越远景观形状受道路的干扰越小, 景观形状越趋于规整。

**关键词:** 土地利用; 景观格局变化; 缓冲区分析; 道路; 玛纳斯河流域

土地利用与景观格局变化能直接反映区域自然—生态—社会经济复合系统变异特征, 是揭示人类活动与自然环境相互关系的重要途径<sup>[1-2]</sup>。道路作为一种特殊的土地利用类型和景观廊道, 在促进区域经济发展的同时也在深刻影响区域土地利用与景观格局的变化。近年来随着国民经济快速发展以及不断增加的交通运输需求, 道路基础设施建设也日益增加, 截至 2015 年底我国公路里程已经达到 457 万 km<sup>[3]</sup>。为保证区域经济社会可持续发展, 道路建设与运营衍生的生态环境问题应该得到足够重视。道路对周边区域生态环境影响的研究, 已成为目前热点之一<sup>[4]</sup>。

道路对区域土地利用与景观格局变化的研究属于道路生态学范畴。道路生态学最早起源于 20 世纪 60 年代, 欧洲和北美一些学者主要研究了道路对植物和野生动物的影响<sup>[5-7]</sup>。20 世纪 80 年代以后, 随着地理信息技术的发展, 道路对区域土地利用与景观格局变化的影响开始引起相关学者的关注<sup>[8-9]</sup>。如 Forman<sup>[10]</sup>、Su 等<sup>[11]</sup>和 Rosa 等<sup>[12]</sup>研究发现, 道路在建设和运营过程中会改变土地利用结构, 降低区域景观的多样性和连接度; 刘世梁等<sup>[13]</sup>和张景华等<sup>[14]</sup>以澜沧江流域为研究区, 表明道路会加剧周围景观的破碎度, 对沿线景观格

收稿日期: 2019-04-05; 修订日期: 2019-08-08

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YEC0500201-02); 科技厅天山创新团队计划 (Y744261)

作者简介: 于涛 (1993-), 男, 河南信阳人, 硕士, 主要从事地理信息系统与遥感应用研究。

E-mail: YT\_ucas5566@163.com

通讯作者: 包安明 (1967-), 男, 甘肃平凉人, 博士, 研究员, 主要从事干旱区资源环境遥感以及 GIS 应用研究。

E-mail: baoam@ms.xjb.ac.cn

局变化有很强的驱动作用。不同地区由于自然环境和气候条件不同,其土地利用与景观格局变化受道路影响的范围也不同。张懿锂等<sup>[15]</sup>以青藏高原为研究区,发现青藏公路对其两侧1~3 km范围内土地利用类型与景观格局变化有较大影响;朱建军等<sup>[16]</sup>对我国西南纵向岭谷区公路两侧土地利用变化进行分析,结果表明公路沿线两侧1~5 km范围内土地开发强度较高,景观类型变化剧烈,是受公路扩展效应影响显著的区域。同时,不同等级道路因建设规模与运输能力不同,对区域土地利用与景观格局变化影响也不同<sup>[13]</sup>。因此,综合分析和比较不同等级道路对区域土地利用与景观格局变化的影响,有助于理解不同等级道路在区域环境演变中的驱动机制,具有重要意义。然而,以往研究大多集中在单一等级道路或主干道对周边土地利用与景观格局的影响上<sup>[17-18]</sup>,忽略了低等级道路的影响<sup>[13]</sup>,同时就各等级道路对区域土地利用与景观格局变化的影响力及影响范围缺乏全面的分析与比较。此外,研究区域主要集中在经济较为发达、生态环境承载力较强的地区<sup>[19]</sup>,在经济较为落后、生态环境较为脆弱的地区研究则较少<sup>[20]</sup>,尤其对生态环境极为脆弱的干旱半干旱绿洲区尚缺乏系统研究<sup>[21]</sup>。

本文选取生态环境极为脆弱的干旱半干旱绿洲区——玛纳斯河流域为研究区,以不同等级道路为研究对象,利用缓冲区分析方法,定量分析和比较近40年来不同等级道路对玛纳斯河流域土地利用与景观格局变化的影响,并在此基础上探讨不同等级道路对流域土地利用与景观格局变化的作用范围,以期为流域尺度道路周边生态的科学管理和土地利用配置方式提供参考依据。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究区概况

玛纳斯河流域地处新疆维吾尔自治区的天山北麓中段,准噶尔盆地南缘,位于 $85^{\circ}01'\sim 86^{\circ}32'E$ 、 $43^{\circ}05'\sim 45^{\circ}58'N$ 之间(图1)。玛纳斯河流域面积约2.29万 $km^2$ ,覆盖行政区域包括石河子市、沙湾县、玛纳斯县,以及分布在两县境内的新疆生产建设兵团农六师和农八师的农牧团场。流域昼夜温差较大,日照充足,多年平均降水量为115~200 mm,多年平均蒸发量为1500~2100 mm,具有鲜明的温带大陆性气候特征<sup>[22]</sup>。玛纳斯河流域是我国典型的生态脆弱区,生态环境脆弱以及水资源短缺是导致玛纳斯河流域资源环境承载力相对较低的主要原因<sup>[23]</sup>。在这样的生态环境条件下,道路对流域生态环境的影响可能会更加显著。玛纳斯河流域是天山北坡经济带的核心地区,基础设施建设与经济发展程度在新疆均处于领先水平<sup>[24]</sup>。截至2015年

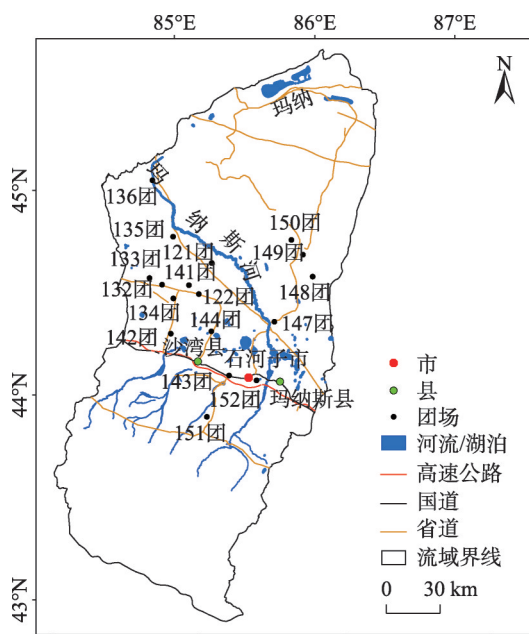


图1 玛纳斯河流域区位

Fig. 1 Location of the Manas River Basin

底,流域公路里程已经超过4900 km,随着国家“一带一路”政策的实施,玛纳斯河流域道路的建设将会进一步加大。在此背景下,定量分析不同等级道路对玛纳斯河流域土地利用与景观格局变化的影响,对流域社会经济的可持续发展具有重要意义。

## 1.2 数据来源与处理

本研究使用的数据主要包括土地利用数据及道路矢量数据。其中1976年和2015年玛纳斯河流域土地利用数据由中国科学院新疆生态与地理研究所提供,分别以Landsat MSS和Landsat OLI为数据源。参考土地资源分类系统<sup>[25]</sup>并根据本研究需要以及研究区土地资源特点,将研究区土地利用类型划分为林地、草地、耕地、水域、建设用地和未利用地共六类。

研究使用的1976年玛纳斯河流域道路矢量数据是在1976年土地利用类型图的基础上,参考1978年中国地图出版社出版的《新疆维吾尔自治区政区图》、新疆维吾尔自治区测绘局编制的1995年《新疆维吾尔自治区地图集》以及1976年石河子垦区地方志、玛纳斯县、沙湾县县志及交通志等统计年鉴和文献资料<sup>[26]</sup>,补充各道路的修建信息,在ArcMap 10.2中目视解译而成。根据国家《公路工程技术标准》(JTGB01-2003),结合研究区经济发展状况以及研究需要,将高速公路和国道合并、省道和专用道路合并、县道和乡道合并,分别重新定义为高速与国道、省道与专道、县道与乡道。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 缓冲区分析

缓冲区分析能较为准确地限定道路的影响范围,该方法已被广泛应用在道路对生态环境影响的研究中<sup>[17,27-28]</sup>。道路缓冲区设置的国际标准并不适合所有区域<sup>[29-30]</sup>,对已有研究成果进行分析发现,谢余初等<sup>[21,31]</sup>认为312国道对干旱区嘉峪关市和酒泉市景观格局的影响范围应该在国道沿线3~5 km范围内,考虑到以上研究区与玛纳斯河流域同属于干旱区,气候与自然条件基本相似<sup>[32]</sup>,结合本文研究需要,将高速与国道缓冲区范围设置为4800 m。同时按照国际标准<sup>[29]</sup>中各等级道路缓冲区之间的设置规律,确定省道与专道、县道与乡道缓冲区距离分别为2400 m和1200 m。为研究不同等级道路对区域土地利用与景观格局变化的影响范围并分析其梯度效应,在高速与国道600~4800 m范围内每隔600 m建一个缓冲区,在省道与专道300~2400 m范围内每隔300 m建一缓冲区,在县道与乡道150~1200 m范围内每隔150 m建一个缓冲区,并在ArcMap 10.2中用擦除命令将各个缓冲区相邻的缓冲区减掉,以此形成三个等级道路下的8个缓冲带(以上范围均指缓冲区生成后的总宽度)。在ArcMap 10.2中将以上得到的缓冲区和缓冲带分别与流域1976年、2015年土地利用类型数据进行相交处理,得到研究年份不同缓冲区及缓冲带内的6种土地利用类型。

### 1.3.2 土地利用变化分析及景观格局指数的选取

本文采用土地利用动态度和土地利用程度综合指数模型<sup>[33]</sup>来分析不同等级道路缓冲区及缓冲带内土地利用变化情况,其中单一土地利用动态度采用张懿铨等<sup>[15]</sup>修正后的模型(表1)。景观格局指数能够反映景观特征的变化,在景观类型水平上选取斑块密度指数PD、最大斑块指数LPI、景观形状指数LSI来表征不同等级道路不同缓冲带内的景观特征变化,同时选取PD、LPI、香浓多样性指数SHDI和蔓延度指数CONTAG来反映不同缓冲带内景观在整体水平上的变化,利用景观格局分析软件Fragstats 4.2对景观指数进行计算,以上景观指数的计算公式及生态学意义在Fragstats 4.2软件中均有说明<sup>[34]</sup>。

表1 土地利用变化分析模型  
Table 1 Land use change analysis model

参数	意义	公式
单一土地利用动态度( $K$ )	表示不同土地利用类型在一定时期内的变化速度和变化幅度	$K = \frac{[(U_a - U_c) + (U_b - U_c)]}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$
综合土地利用动态度( $LC$ )	反映区域在一定时间范围内土地利用类型变化的整体状态及趋势	$LC = \frac{(\sum \Delta U_{i-j}) / (\sum U_i)}{T} \times 100\%$
土地利用程度综合指数( $L_a$ )	反映研究区域土地利用的规模和未来发展方向, 以及受人为干扰的程度	$L_a = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i$

注:  $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$ 分别为研究初期、末期和没有发生变化的某种土地利用类型的面积;  $T$ 为研究时段;  $\Delta U_{i-j}$ 为第*i*类土地利用类型转化为第*j*类的面积;  $\sum U_i$ 为第*i*类土地利用类型的面积;  $A_i$ 为第*i*级的土地利用程度分级指数, 根据冯异星等<sup>[35]</sup>结合玛纳斯河流域实际情况, 借鉴刘纪远等<sup>[1]</sup>提出的土地利用程度分级指数得到;  $C_i$ 为第*i*级土地利用程度分级面积百分比。

2 结果分析

2.1 不同等级道路对流域土地利用变化的影响

2.1.1 不同等级道路缓冲区内土地利用动态度

图2反映了不同等级道路缓冲区内土地利用动态度的变化情况。总体来看, 草地和未利用地在三个等级道路不同缓冲区内土地利用动态度均较小 (<3%), 其他4种土地利用类型的土地利用动态度则较高, 其中县道与乡道建设用地最高为9.8% (图2); 耕地和水域的土地利用动态度均为省道与专道>县道与乡道>高速与国道, 建设用地则为县道与乡道 (9.80%) >省道与专道 (7.13%) >高速与国道 (5.72%), 说明县道与乡道两旁的建设活动比较明显; 林地的土地利用动态度在高速与国道缓冲区内最大为9.41%, 这可能与为维护高等级道路而在其两旁进行的绿化林带建设有关。

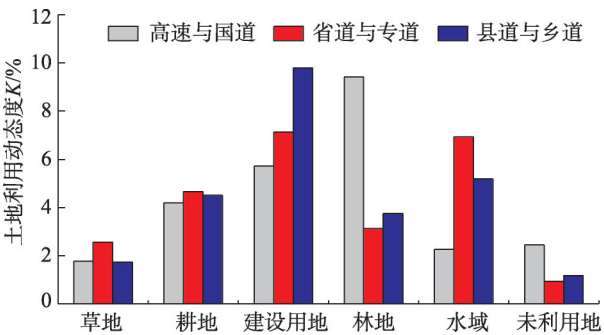


图2 不同等级道路不同缓冲区范围内土地利用动态度  
Fig. 2 Land use dynamics in different buffer zones of different levels of roads

2.1.2 不同等级道路缓冲区综合土地利用动态度与土地利用综合程度变化

玛纳斯河流域 1976-2015 年综合土地利用动态度 ( $LC$ ) 高速与国道 (1.40%) >省道与专道 (1.26%) >县道与乡道 (1.22%) >玛纳斯河全流域 (1.01%) (表2); 土地利用程度综合指数 ( $L_a$ ) 在 1976-2015 年间增加明显, 高速与国道增幅 (52.70) >县道与乡道 (38.96) >省道与专道 (33.20) >玛纳斯河全流域 (28.38), 表明近 40 年间玛纳斯河流域道路周边整体土地利用变化速度及开发程度要远高于全流域, 道路对缓冲区内土地利用变化的驱动作用较为明显; 同时高速与国道对缓冲区内土地利用的综合影响最为突出。

2.1.3 土地利用动态度在不同等级道路缓冲区梯度上的变化

高速与国道土地利用动态度在各缓冲梯度上没有明显变化规律, 且最大值分布较为



表2 综合土地利用动态度 (LC) 与土地利用程度综合指数 (La) 的变化

Table 2 Changes of comprehensive land use dynamics (LC) and land use degree comprehensive index (La)

	高速与国道4800 m 缓冲区	省道与专道2400 m 缓冲区	县道与乡道1200 m 缓冲区	玛纳斯河全流域
LC/%	1.40	1.26	1.22	1.01
La变化值	52.70	33.20	38.96	28.38

离散 (表3)：草地土地利用动态度的最大值在600 m梯度上，耕地的土地利用动态度集中在3000~4200 m梯度上，林地和水域土地利用动态度的最大值分别在3600 m和4800 m梯度上，而建设用地和未利用地的土地利用动态度最大值则分布在3000 m梯度上。

省道与专道草地土地利用动态度的最大值 (2.58%) 出现在900~1200 m梯度上；林地的土地利用动态度随着缓冲区梯度的增加而增大，在2100 m梯度上达到最大值 (3.20%)；耕地在600 m梯度上土地利用动态度达到最大 (4.97%)，且随着缓冲区梯度的增加，呈现出先减小后增大的趋势 (表3)；这在一定程度上反映了流域耕地开垦方式与道路之间的关系：以道路为基准，先开垦距离道路较近的土地，待其饱和，再开始开垦距离道路较远的土地；建设用地、水域和未利用地的土地利用动态度最大值表现出聚集效应，都出现在300 m梯度上。

表3 各类土地类型的土地利用动态度在缓冲区梯度上的变化

Table 3 Changes in land use dynamics of various land use types in buffer gradient

	缓冲区梯度/m	草地/%	耕地/%	建设用地/%	林地/%	水域/%	未利用地/%
高速与国道	600	1.98	4.33	6.06	8.18	1.94	2.40
	1200	1.80	3.86	4.96	10.43	2.14	2.22
	1800	1.70	4.10	5.24	9.88	2.07	2.65
	2400	1.65	3.91	6.16	10.77	1.68	2.65
	3000	1.75	4.36	6.79	11.15	2.04	2.84
	3600	1.77	4.46	5.85	13.52	2.68	2.57
	4200	1.75	4.46	5.75	8.30	3.17	2.56
	4800	1.70	4.15	5.12	4.49	3.73	2.56
省道与专道	300	2.52	4.72	14.12	3.04	10.80	0.97
	600	2.55	4.97	7.74	3.04	9.12	0.96
	900	2.58	4.75	6.00	3.10	7.81	0.93
	1200	2.58	4.53	5.98	3.13	7.50	0.91
	1500	2.54	4.52	5.64	3.15	6.56	0.91
	1800	2.55	4.63	5.17	3.14	5.76	0.92
	2100	2.56	4.64	5.21	3.20	5.47	0.92
	2400	2.53	4.55	5.62	3.17	5.80	0.92
县道与乡道	150	1.75	4.77	11.09	3.95	5.23	1.11
	300	1.73	4.70	10.59	3.85	5.77	1.12
	450	1.72	4.59	10.10	3.74	5.96	1.14
	600	1.72	4.54	9.29	3.69	5.61	1.16
	750	1.74	4.48	9.10	3.72	5.35	1.20
	900	1.73	4.41	9.04	3.72	4.62	1.23
	1050	1.72	4.31	9.34	3.69	4.40	1.23
	1200	1.70	4.27	9.45	3.64	4.58	1.25

县道与乡道缓冲区梯度上草地、耕地、建设用地和林地土地利用动态度的最大值均出现在150 m梯度上(表3),土地利用变化最剧烈的区域在空间上的聚集现象明显,说明县道与乡道对其两侧150 m范围内土地利用变化的驱动作用较为强烈;其中耕地的土地利用动态度在缓冲区梯度上表现出逐渐减小的趋势,表明道路对耕地的干扰能力随梯度逐渐减弱;水域在450 m梯度上达到土地利用动态度的最大值(5.96%)。

#### 2.1.4 综合土地利用动态度与土地利用程度综合指数在各等级道路缓冲区梯度上的变化

综合土地利用动态度( $LC$ )在各等级道路缓冲区梯度上均呈现出递减趋势(图3a、图3c、图3e),这说明距离道路越远,缓冲区范围内整体土地利用变化受各等级道路的干扰就越小;土地利用程度综合指数( $L_a$ )2015年与1976年相比均有所增加( $L_a$ 变化 $>0$ )(图3b、图3d、图3f),说明在近40年间,玛纳斯河流域不同等级道路周边土地开发活动频繁,道路对土地利用的驱动作用明显;土地利用程度综合指数( $L_a$ )在不同等级道路缓冲区梯度上的增加幅度存在一定差异,其中高速与国道、县道与乡道缓冲区 $L_a$ 增加幅度较大(图3b、图3f),且总体上 $L_a$ 增加幅度有随着缓冲区梯度增大逐渐减小的趋势,说明高速与国道、县道与乡道周边土地开发利用程度较高,且距离道路越远,土地的综合开发程度就越低;省道与专道 $L_a$ 在1200 m梯度之前增加幅度逐渐减小(图3d),在1200 m梯度之后则逐渐增加,这可能与省道与专道周边耕地的开垦方式有关。

### 2.2 不同等级道路对流域景观格局影响

#### 2.2.1 不同等级道路缓冲区内景观格局变化

近40年间各等级道路缓冲区内6种景观类型的斑块密度指数( $PD$ )均有所增加,且

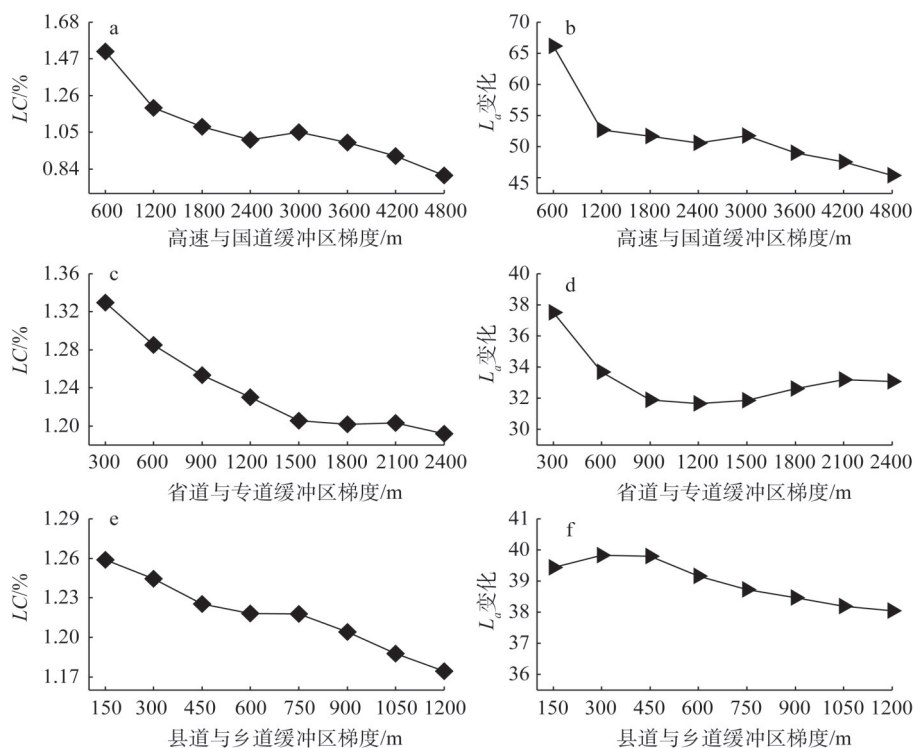


图3 综合土地利用动态度( $LC$ )与土地利用程度综合指数( $L_a$ )在不同等级道路缓冲区梯度上的变化

Fig. 3 Changes of the  $LC$  and  $L_a$  in different buffer radius of different levels of roads

表4 不同等级道路缓冲区景观指数变化

Table 4 Changes of landscape index on different levels of roads in buffer zones

道路 缓冲区	土地利用 类型	PD/(个/m <sup>2</sup> )			LPI			LSI		
		1976年	2015年	变化量	1976年	2015年	变化量	1976年	2015年	变化量
高速与 国道	草地	0.038	0.138	0.101	18.083	13.771	-4.312	10.493	13.396	2.903
	耕地	0.059	0.088	0.029	5.713	24.713	18.999	13.813	16.674	2.861
	建设用地	0.055	0.166	0.111	3.343	7.872	4.528	8.551	23.594	15.044
	林地	0.011	0.031	0.020	0.351	0.669	0.318	4.011	7.057	3.046
	水域	0.005	0.018	0.013	1.254	0.470	-0.784	5.607	6.843	1.237
	未利用地	0.002	0.007	0.005	1.639	0.132	-1.507	4.124	3.947	-0.176
省道与 专道	草地	0.053	0.238	0.186	5.503	5.882	0.378	19.649	28.076	8.426
	耕地	0.069	0.072	0.003	0.986	5.840	4.854	20.150	27.384	7.234
	建设用地	0.017	0.124	0.107	0.225	0.480	0.255	9.131	32.643	23.512
	林地	0.032	0.076	0.044	6.488	0.401	6.087	11.529	20.346	8.817
	水域	0.004	0.029	0.025	0.113	0.400	0.287	5.299	14.603	9.304
	未利用地	0.016	0.033	0.017	20.644	13.759	6.885	9.804	12.152	2.348
县道与 乡道	草地	0.152	0.359	0.207	6.449	3.601	2.848	30.010	35.710	5.700
	耕地	0.130	0.253	0.123	0.864	3.401	2.537	25.074	38.300	13.226
	建设用地	0.025	0.169	0.144	0.201	0.251	0.050	9.060	28.271	19.211
	林地	0.071	0.160	0.090	0.702	0.720	0.018	17.761	26.587	8.826
	水域	0.011	0.086	0.075	0.349	0.130	0.219	9.584	24.557	14.973
	未利用地	0.041	0.068	0.026	3.329	3.339	0.010	13.793	14.634	0.841

草地和建设用地增加最为明显，破碎化程度最高。除高速与国道未利用地外，其他景观类型的景观形状指数 *LSI* 均有所增加，其中在高速与国道和省道与专道缓冲区范围内建设用地和耕地增加幅度最大，空间异质性最为明显。在县道与乡道缓冲区范围内，*LSI* 指数增加最大的则是建设用地（19.21）和水域（14.97），水域景观形状异质性增加的原因可能是玛纳斯河流域近年来大规模修建了用于农业灌溉的水库<sup>[22]</sup>。高速与国道优势景观由1976年的草地变为2015年的耕地和建设用地，说明在近40年间高速与国道周边草地退化严重，且有面积较大的耕地和建设用地出现；省道与专道林地与未利用地 *LPI* 指数在近40年间减小明显，这与林地和未利用地转化为耕地和建设用地有关；县道与乡道水域 *LPI* 指数明显减小，但 *LSI* 指数增加也较为明显，说明其周边大面积水域在减少，但是新修建的离散水库数量在增加。

2.2.2 PD和LSI在不同等级道路缓冲区梯度上的变化

从图4可以看出，各等级道路缓冲区梯度上斑块密度指数 *PD* 和景观形状指数 *LSI* 2015年均比1976年高，说明近40年内各等级道路周边景观破碎度和景观形状的复杂度都有所增加；2015年各等级道路 *PD*（图4a、图4c、图4e）分别在3600 m（3.5）、600 m（5.3）和300 m（14.6）缓冲区梯度上达到最大值，说明三个等级道路分别对其两侧3600 m、600 m和300 m范围内景观的切割作用最为强烈，景观破碎化程度最为剧烈；其中县道与乡道 *PD* 在300 m梯度后，其值随缓冲区梯度逐渐降低（图4e），说明距离县道与乡道越远，周围景观破碎化程度就越低，受县道与乡道的切割作用就越弱；2015年各等级道路 *LSI*（图4b、图4d、图4f）分别在1200 m（28）、600 m（81）和300 m（138）缓冲区梯度上出现最大值，景观形状最为复杂，同时高速与国道 *LSI* 自1200 m梯度后有逐渐减小的趋势（图4b），这说明距离道路越远景观形状受高速与国道的干扰越

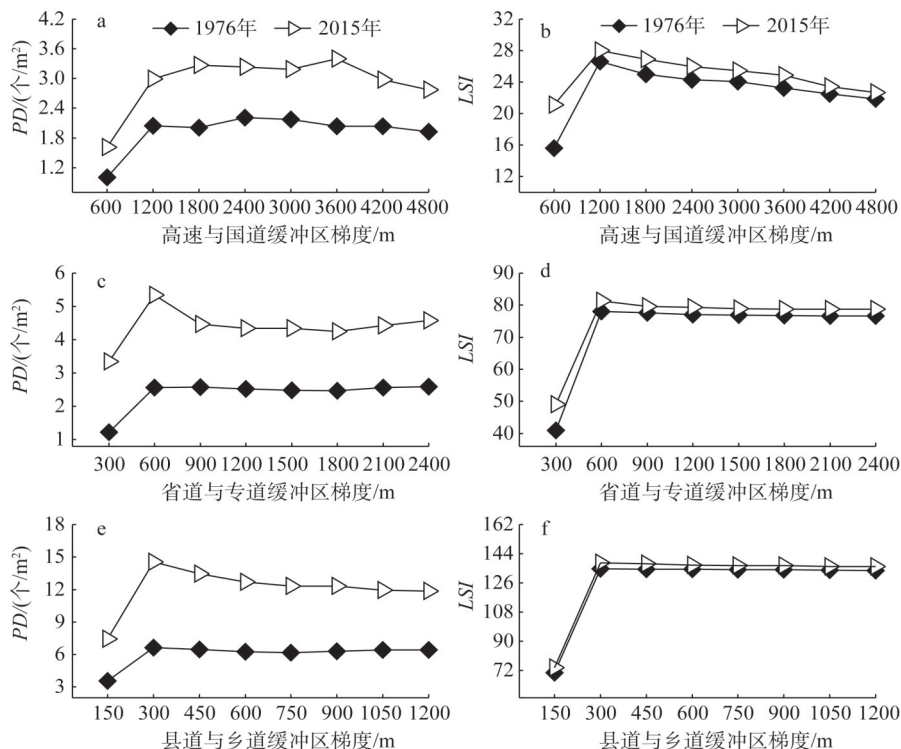


图4 PD和LSI在不同等级道路缓冲区梯度上的变化

Fig. 4 Changes of the PD and LSI in the buffer gradient of different levels of roads

小, 景观的形状越趋于规整。

### 2.2.3 SHDI和CONTAG在不同等级道路缓冲区梯度上的变化

各等级道路缓冲区梯度上景观多样性指数SHDI (除高速与国道600 m梯度外) 2015年均比1976年高 (图5a、图5c、图5e), 而景观连接度指数CONTAG则是1976年高于2015年 (图5b、图5d、图5f), 这说明近40年间流域道路周围景观的异质性有所增加, 同时景观连接度有所降低, 景观比例趋于一致; 在高速与国道缓冲区梯度上, 1976年SHDI随梯度逐渐降低。2015年SHDI则呈现出先增加后减小的趋势 (图5a), 其中在2400~3000 m梯度上达到峰值 (1.6), 这可能与该范围内建设用地被大量开发有关; 省道与专道2015年SHDI在缓冲区梯度上逐渐递减, 其中300~600 m减少幅度最大, 景观异质性降低明显, 而CONTAG在300~600 m则增加幅度最大, 景观连通度显著增加; 县道与乡道SHDI和CONTAG在1976年随缓冲区梯度变化不大 (图5e、图5f), 而在2015年梯度效应明显, 其中SHDI逐渐递减, CONTAG逐渐增加, 表明随梯度增加景观受道路影响减弱, 景观异质性降低, 景观比例更加均匀。

## 3 结论与讨论

### 3.1 结论

(1) 1976-2015年玛纳斯河流域不同等级道路周边整体土地利用变化的速度和开发程度要远高于全流域, 道路对缓冲区内土地利用变化驱动作用较为明显; 流域整体土地利用变



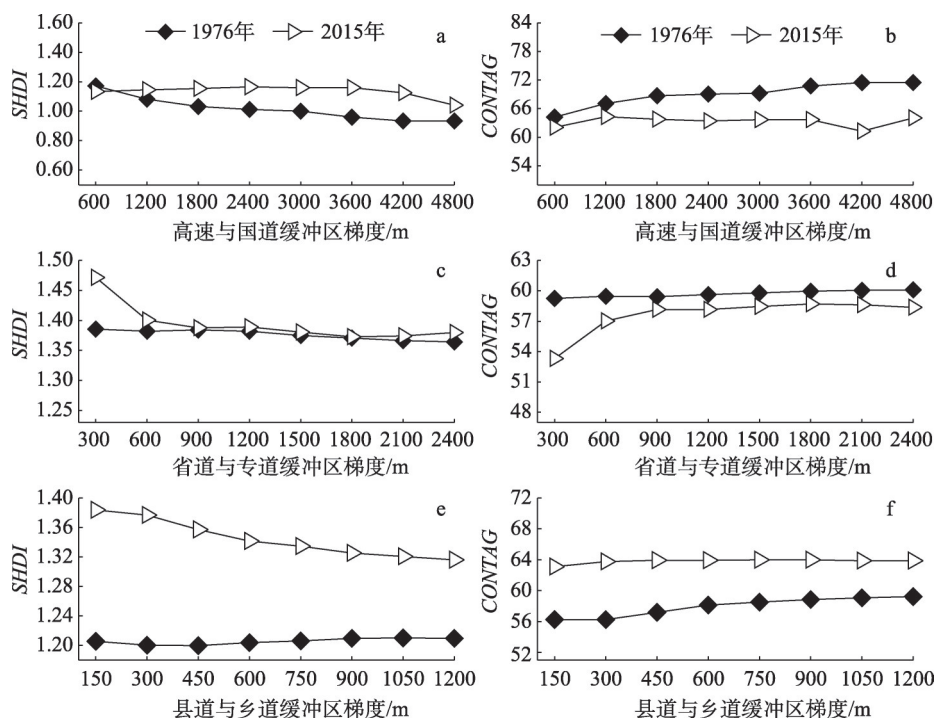


图5 SHDI和CONTAG在不同等级道路缓冲区梯度上的变化

Fig. 5 Changes of the SHDI and CONTAG in the buffer gradient of different levels of roads

化在各等级道路上存在梯度效应,即距道路越远,受各等级道路干扰就越小。

(2) 不同等级道路对玛纳斯河流域土地利用变化影响不同,高速与国道对土地利用变化的综合影响最为突出,其次为省道与专道、县道与乡道,其缓冲区内综合土地利用动态度分别为1.40%、1.26%、1.22%。不同等级道路对不同土地类型土地利用变化的影响程度也不同:高速与国道对缓冲区内林地的土地利用变化影响最为明显(土地利用动态度最大为9.41%),省道与专道对水域土地利用变化影响最大,土地利用动态度为9.5%;县道与乡道对建设用地土地利用变化影响最大,土地利用动态度为9.80%。

(3) 近40年来玛纳斯河流域不同等级道路缓冲区范围内景观破碎度与异质性均有所增加而景观连接度却有所降低,其中草地和建设用地景观破碎度增加最大,且因为开发不够连续,建设用地与耕地形状逐渐趋于复杂,异质性增加最大。

(4) 高速与国道、省道与专道和县道与乡道分别对其周围3600 m、600 m和300 m范围内景观的切割作用最为强烈,加剧了各自范围内景观的破碎度,使景观的形状趋于复杂;距离道路越远景观形状受道路干扰就越小,景观的形状越趋于规整。

### 3.2 讨论

本文以玛纳斯河流域为研究区,全面分析了不同等级道路在40年间对流域土地利用与景观格局变化的影响,研究表明:近40年间各等级道路周边土地利用变化速度和开发程度要远高于全流域,其中县道与乡道缓冲区范围内土地开发的剧烈程度要高于省道与专道,这说明低等级道路虽运输功能较低,但因为贯穿乡村和城市,连接的景观类型多样,对区域土地利用与景观格局变化的影响也不容忽视<sup>[13]</sup>。同时,高速与国道对其沿线3600 m范围内景观切割作用最为强烈,景观破碎度最高,这与谢余初等<sup>[21]</sup>提出的国道对

干旱区景观格局的影响范围可能超过 3000 m 的结论一致。但 Su 等<sup>[11]</sup>对太湖苕溪流域的研究却表明,高速与国道对景观格局影响显著的区域仅在道路沿线 600~1000 m 范围内,远低于 3600 m。造成这种现象的原因与玛纳斯河流域生态环境脆弱的特点有关,玛纳斯河流域地处干旱区腹地,水资源短缺,生态系统承载力和恢复力较低<sup>[23]</sup>,道路对其生态环境的影响可能更大,作用范围更广,道路对于干旱区以及绿洲内部的生态效应应该引起足够的重视<sup>[21,31]</sup>。

此外,各等级道路并不是孤立的个体,而是彼此连接形成不同的道路网络。已有研究证明区域土地利用和景观格局变化与道路网络密度有较强的相关关系<sup>[19,27]</sup>。因此,为全面理解不同等级道路对玛纳斯河流域土地利用与景观格局变化的驱动机制,本文利用核密度估计<sup>[19,36]</sup>方法分别提取了高速与国道、省道与专道、县道与乡道 4800 m、2400 m、1200 m 缓冲区范围内道路网密度,并将各等级道路网密度分为三个等级,以综合土地利用动态度  $LC$  和斑块密度  $PD$  为分析指标,研究了各等级路网密度对玛纳斯河流域土地利用与景观格局变化的影响。可以看出近 40 年间玛纳斯河流域综合土地利用动态度  $LC$  随各等级道路密度的增加而增加(图 6),具有明显的梯度效应,各等级道路密度越高土地利用变化速度就越快。斑块密度  $PD$  在各等级道路密度梯度上的变化(图 7)则表明除省道与专道密度  $RD$  大于 0.66 km/km<sup>2</sup> 的区域外,其他等级道路密度梯度上 2015 年斑块密度  $PD$  均比 1976 年高,且 1976 年和 2015 年  $PD$  均表现出明显的梯度效应,即道路密度越大,斑块密度  $PD$  就越大。由以上分析可以看出道路密度对玛纳斯河流域土地利用与景观格局变化具有一定的影响,进一步探讨道路网络的扩展效应与流域土地利用与景观格局变化的关系具有重要意义。

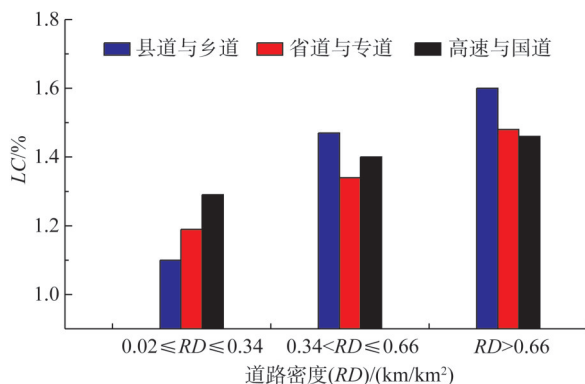


图 6 综合土地利用动态度 ( $LC$ ) 在道路密度梯度上的变化

Fig. 6 Changes of the  $LC$  on road density gradient

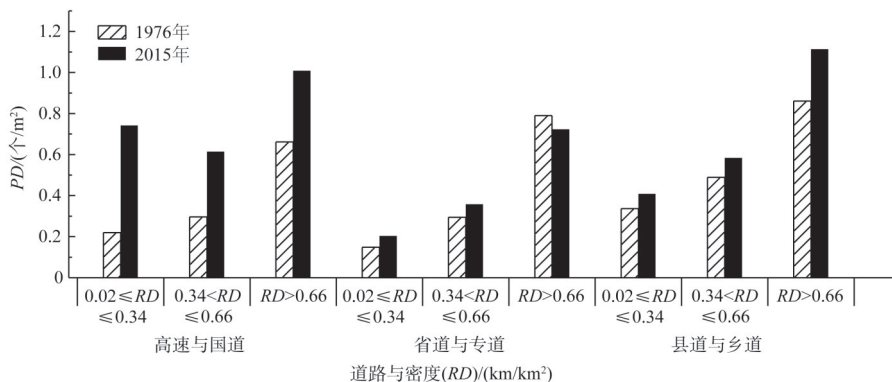


图 7  $PD$  在各等级道路密度梯度上的变化

Fig. 7 Changes of the  $PD$  in the density gradient of each grade road

## 参考文献(References):

- [1] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14. [LIU J Y, KUANG W H, ZHANG Z X, et al. The basic characteristics and spatial pattern of land use change in China since the late 1980s. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(1): 3-14.]
- [2] 吴健生, 王政, 张理卿, 等. 景观格局变化驱动力研究进展. 地理科学进展, 2012, 31(12): 1739-1746. [WU J S, WANG Z, ZHANG L Q, et al. Research progress on the driving forces of landscape pattern change. *Progress in Geography*, 2012, 31(12): 1739-1746.]
- [3] 刘文杰. 我国路面发展现状. 中国公路, 2016, (7): 70-71. [LIU W J. The status quo of road development in China. *China Highway*, 2016, (7): 70-71.]
- [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. [ZONG Y G, ZHOU S Y, PENG P, et al. Progress in road ecology research. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2396-2405.]
- [5] HODSON N L. Some notes on the causes of bird road casualties. *Bird Study*, 1962, 9(3): 168-173.
- [6] PUGLISI M J. Factors associated with highway mortality of white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management*, 1974, 38(4): 799-807.
- [7] SPARROW S D, WOODING F J, WHITING E H. Effects of off-road vehicle traffic on soils and vegetation in the Denali Highway region of Alaska. *Journal of Soil Water Conservation*, 1978, 33(1): 20-27.
- [8] 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. [LI Y H, HU Y M, LI X Z, et al. Progress in road ecology research. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(3): 447-452.]
- [9] 汪自书, 曾辉, 魏建兵. 道路生态学中的景观生态问题. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1665-1670. [WANG Z S, ZENG H, WEI J B. Landscape ecology in road ecology. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(10): 1665-1670.]
- [10] FORMAN R T T. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*, 2000, 14(1): 31-35.
- [11] SU S, XIAO R, LI D, et al. Impacts of transportation routes on landscape diversity: A comparison of different route types and their combined effects. *Environmental Management*, 2014, 53(3): 636.
- [12] ROSA I M D, GABRIEL C, JOÃO M B. Spatial and temporal dimensions of landscape fragmentation across the Brazilian Amazon. *Regional Environmental Change*, 2017, 17(6): 1687-1699.
- [13] 刘世梁, 温敏霞, 崔保山. 不同道路类型对澜沧江流域景观的生态影响. 地理研究, 2007, 26(3): 63-68. [LIU S L, WEN M X, CUI B S. Ecological effects of different road types on the landscape of the Lancang River Basin. *Geographical Research*, 2007, 26(3): 63-68.]
- [14] 张景华, 封志明, 姜鲁光, 等. 道路干扰对澜沧江流域景观格局的影响. 自然资源学报, 2013, 28(6): 969-980. [ZHANG J H, FENG Z M, JIANG L G, et al. The influence of road interference on the landscape pattern of the Lancang River Basin. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(6): 969-980.]
- [15] 张懿铨, 刘林山, 摆万奇, 等. 青藏公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. [ZHANG Y L, LIU L S, BAI W Q, et al. Effects of Qingzangong on regional land use and landscape pattern: A case study from Golmud to Tanggula Mountain. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(3): 253-266.]
- [16] 朱建军, 崔保山, 姚华荣, 等. 纵向岭谷区公路沿线土地利用变化与扩展效应. 自然资源学报, 2006, 21(4): 507-515. [ZHU J J, CUI B S, YAO H R, et al. Landuse changes and expansion effects caused by road construction in Longitudinal Range-Gorge region. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(4): 507-515.]
- [17] 黄勇, 李阳兵, 应弘. 渝宜高速(重庆段)对土地利用变化驱动及景观格局的响应. 自然资源学报, 2015, 30(9): 1449-1460. [HUANG Y, LI Y B, YING H. The land use change and landscape pattern response driven by Yu-Yi Expressway (Chongqing Section). *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(9): 1449-1460.]
- [18] 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. 地球信息科学学报, 2014, 16(6): 898-906. [CAO W X, LUO F X, HAN J, et al. Effects of main roads on landscape pattern changes in rapid urbanization areas. *Journal of Geo-Information Science*, 2014, 16(6): 898-906.]
- [19] 蔡雪娇, 吴志峰, 程炯. 基于核密度估算的路网格局与景观破碎化分析. 生态学杂志, 2012, 31(1): 158-164. [CAI X J, WU Z F, CHENG J. Analysis of road grid bureau and landscape fragmentation based on kernel density estimation.

- Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(1): 158-164.]
- [20] 赵芳, 卢涛. 道路扩展对青藏高原东缘土地利用及景观格局的影响. 生态科学, 2017, 36(4): 146-151. [ZHAO F, LU T. Effects of road expansion on land use and landscape patterns in the eastern edge of the Qinghai-Tibet Plateau. Ecological Science, 2017, 36(4): 146-151.]
- [21] 谢余初, 巩杰, 钱大文, 等. 国道31酒泉—嘉峪关公路沿线景观格局变化. 干旱区研究, 2013, 30(6): 1056-1063. [XIE Y C, GONG J, QIAN D W, et al. The national landscape 31 Jiuquan-landscape pattern change along the Jiayuguan Section Highway. Arid Zone Research, 2013, 30(6): 1056-1063.]
- [22] 李建军, 罗格平, 丁建丽, 等. 近50 a人工灌排技术进步对玛纳斯河流域耕地格局变化的影响. 自然资源学报, 2016, 31(4): 570-582. [LI J J, LUO G P, DING J L, et al. Effects of artificial irrigation and drainage technology on the change of cultivated land pattern in Manas River Basin in recent 50 years. Journal of Natural Resources, 2016, 31(4): 570-582.]
- [23] 凌红波, 徐海量, 史薇, 等. 新疆玛纳斯河流域绿洲生态安全评价. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2219-2224. [LING H B, XU H L, SHI W, et al. Evaluation of oasis ecological security in Manas River Basin, Xinjiang. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(9): 2219-2224.]
- [24] 黄莹, 包安明, 陈曦, 等. 新疆天山北坡干旱区GDP时空模拟. 地理科学进展, 2009, 28(4): 494-502. [HUANG Y, BAO A M, CHEN X, et al. Spatial and temporal simulation of GDP in the arid region of the northern slope of Tianshan Mountains in Xinjiang. Progress in Geography, 2009, 28(4): 494-502.]
- [25] 陈百明, 周小萍. 《土地利用现状分类》国家标准的解读. 自然资源学报, 2007, 22(6): 994-1003. [CHEN B M, ZHOU X P. Explanation of current land national standard of the use condition classification for People's Republic of China. Journal of Natural Resources, 2007, 22(6): 994-1003.]
- [26] 张青青, 徐海量, 樊自立, 等. 基于玛纳斯河流域生态问题的生态安全评价. 干旱区地理, 2012, 35(3): 479-486. [ZHANG Q Q, XU H L, FAN Z L, et al. Ecological safety evaluation based on ecological problems in Manas River Basin. Arid Land Geography, 2012, 35(3): 479-486.]
- [27] 刘世梁, 温敏霞, 崔保山, 等. 基于网络特征的道路生态干扰: 以澜沧江流域为例. 生态学报, 2008, 28(4): 1672-1680. [LIU S L, WEN M X, CUI B S, et al. Road ecological disturbance based on network characteristics: Taking the Lancang River Basin as an example. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1672-1680.]
- [28] 刘世梁, 郭旭东, 傅伯杰, 等. 道路网络对黄土高原过渡区土地生态安全的影响. 干旱区研究, 2006, 23(1): 126-132. [LIU S L, GUO X D, FU B J, et al. The influence of road network on land ecological security in the transitional zone of the Loess Plateau. Arid Zone Research, 2006, 23(1): 126-132.]
- [29] 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): 78-85. [LI S C, XU Y Q, ZHOU Q F, et al. Statistical analysis of the relationship between road network and ecosystem fragmentation in China. Progress in Geography, 2004, 23(5): 78-85.]
- [30] 马雪莹, 邵景安, 徐新良. 乡村路网对三峡库区社区水平森林结构的影响. 自然资源学报, 2017, 32(9): 1482-1494. [MA X Y, SHAO J A, XU X L. Effects of rural road network on community level forest structure in the Three Gorges Reservoir Area. Journal of Natural Resources, 2017, 32(9): 1482-1494.]
- [31] 谢余初, 巩杰, 王合领, 等. 绿洲城市不同道路扩展轴的景观梯度变化对比研究. 地理科学, 2013, 33(12): 1434-1441. [XIE Y C, GONG J, WANG H L, et al. Comparative study on landscape gradients of different road extension axes in oasis city. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(12): 1434-1441.]
- [32] 王浩, 秦大庸, 王建华, 等. 西北内陆干旱区水资源承载能力研究. 自然资源学报, 2004, 19(2): 151-159. [WANG H, QIN D Y, WANG J H, et al. Study on water resources carrying capacity in inland arid areas of Northwest China. Journal of Natural Resources, 2004, 19(2): 151-159.]
- [33] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究. 自然资源学报, 1997, 12(2): 10-16. [ZHUANG D F, LIU J Y. Study on the regional differentiation model of land use degree in China. Journal of Natural Resources, 1997, 12(2): 10-16.]
- [34] UMass Landscape Ecology Lab. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps documentation. (2014-01-16) [2014-03-03]. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf>.
- [35] 冯异星, 罗格平, 尹昌应, 等. 干旱区内陆河流域土地利用程度变化与生态安全评价: 以新疆玛纳斯河流域为例. 自然资源学报, 2009, 24(11): 1921-1932. [FENG Y X, LUO G P, YIN C Y, et al. Change of land-use degree and ecologi-



cal security assessment of inland river basins in the arid area: A case study on Manas River Basin in Xinjiang. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(2): 151-159.]

- [36] CAI X, WU Z, CHENG J. Using kernel density estimation to assess the spatial pattern of road density and its impact on landscape fragmentation. *International Journal of Geographical Information Science*, 2013, 27(2): 222-230.

## Effects of different level roads on land use and landscape pattern of Manas River Basin

YU Tao<sup>1,2</sup>, BAO An-ming<sup>1</sup>, LIU Tie<sup>1</sup>, GUO Hao<sup>1,2</sup>, ZHENG Guo-xiong<sup>1,2</sup>, CHEN Tao<sup>1,2</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** In order to reveal the processes and mechanisms of roads on land use and landscape pattern changes in arid and semi-arid regions, this paper selects the Manas River Basin as the study area, and selects different level roads in this basin in 1976 as the research object. Based on land use classification data covering 1976 and 2015, the method of buffer analysis, combined with land use dynamics, land use comprehensive indexes and landscape indexes, was used to examine the changes of land use and landscape pattern on the road buffer and buffer gradient of all levels in the past 40 years. The results show that the roads of the Manas River Basin have a significant impact on the land use change in recent 40 years and there is a gradient effect: the farther away from the road, the smaller the disturbance of the roads of all levels; the degree of impact of various grades of roads on the overall land use change show that: highway and national roads > provincial roads and special roads > county roads and township roads. In addition, highways and national roads, provincial roads and special roads, county roads and township roads have the greatest impact on the change of forest land, water area and construction land in the buffer zone. The landscape pattern analysis shows that the landscape fragmentation and heterogeneity have increased in different buffer zones of all levels in the past 40 years, but the landscape spread has decreased; the most intense range of the highways and national roads, provincial roads and special roads, county roads and township roads is 3600 meters, 600 meters and 300 meters, respectively, and the farther away from the road, the more the landscape shape is interfered by the road, and the shape of the landscape is more and more regular. This study could provide a reference for the planning of road networks in arid and semi-arid areas and the reasonable development and allocation of land resources.

**Keywords:** land use; landscape pattern change; buffer analysis; roads; Manas River Basin