

绿洲城市不同道路扩展轴的景观梯度变化对比研究

谢余初, 巩 杰, 王合领, 孙 朋, 钱大文

(兰州大学西部环境教育部重点实验室, 干旱环境与气候变化协同创新中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 绿洲城市不同道路扩展轴上景观梯度变化是理解城市化对干旱区城乡景观格局及其生态过程影响的重要途径。基于遥感与GIS技术支持, 结合景观格局指数与梯度分析, 对比分析了干旱区绿洲城市酒泉市肃州区不同道路扩展轴上的城市景观格局梯度动态变化及其特征。结果表明: 1996~2010年, 肃州区各道路扩展轴沿线景观格局变化显著, 建设用地和城市绿地增加迅速, 未利用地、灌丛草地和耕地等明显减少; 城市化过程表现为沿交通干线轴向上“团块-轴向”的扩张特征。城市化进程造成酒嘉和酒西公路扩展轴方向的景观异质性和多样性增加, 景观形状更为复杂, 景观类型由原本占主导地位的未利用地逐渐转变为以城市工业建设用地景观为主。酒清和酒金公路扩展轴上, 靠近城区中心的景观破碎化程度和景观形状复杂性指数较高, 而远离城区中心的各指数值较低, 逐渐趋向于多种景观均势并存的景观格局。总体上, 不同等级城市道路扩展轴上城市化及其城市景观梯度变化特征不同, 国道酒嘉公路样带>省道酒西公路>国道酒清公路>省道酒金公路; 在空间尺度上, 各扩展轴上城市郊区景观指数变化明显大于绿洲农业区。

关键词: 城市化; 城市道路扩展轴; 景观格局变化; 梯度分析; 绿洲城市; 干旱区

中图分类号: Q149 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)12-1434-08

城市化是人类活动对自然生态系统的一种强烈作用^[1], 不仅影响城市各景观成分的组成、分布与配置, 而且在不同尺度上影响着自然生态系统结构和功能^[1,2]。绿洲是干旱区的一种独特地理景观和非地带性生态系统^[3], 也是干旱区维系人类活动与发展的基本场所。绿洲城市是干旱区绿洲发展到一定阶段形成的新型自然-社会-经济复合系统, 是人类活动最为集中、人地关系最为复杂的区域^[4-6]。绿洲城市扩张是人类活动在绿洲地理空间上的主要体现形式, 也是绿洲城市化在物质形态上的体现^[7]。交通道路和水土资源开发利用是干旱区社会发展的重要影响因素^[8], 城市沿主要交通道路轴向扩展是干旱区城市空间扩展的主要模式之一^[9,10], 因此, 干线道路及道路建设对绿洲和城市空间发展具有很好的指向性作用。

景观格局分析是景观空间动态研究的主要方法, 通过描述景观结构、组成特征及其空间配置特点, 进而反映生态系统的生态过程与环境状况以

及景观格局与过程之间的相互作用^[11]。梯度分析能够很好显示研究目标在空间上的分布规律, 已被成功地用于分析城市-乡村的空间梯度^[12,13]。近年来, 不少学者将其与景观格局指数分析结合, 研究城市化对生态系统^[14-16]、景观格局和土地利用变化研究^[17-20]; 这些研究大多是穿过城市中心取水平样带^[14,17,21]或“十”字形^[12,22]或“米”字形^[2,20]沿东西或南北方向选取样带, 并非严格沿着城市扩展轴开展分析。同时, 道路扩展轴的影响是一个动态累积的过程, 从时间和空间2个维度上分析城市化过程中城市扩展轴向上景观变化相对较少^[14,23], 而针对干旱区不同道路扩展轴的城市扩张景观格局时空梯度分析的报道就更少。

受干旱环境和有限且非均质分布的水土资源的综合约束, 干旱区绿洲城市化与其它区域的城市化有着显著的不同, 即绿洲城市扩展轴及其周边区域是城市化的先锋, 更能准确地反映出绿洲城市化强度及其对景观格局与生态过程的影响。

收稿日期: 2013-04-11; **修订日期:** 2013-06-11

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2009CB421306)和教育部春晖计划项目(Z2011028)资助。

作者简介: 谢余初(1983-), 男, 广西宾阳人, 博士研究生, 研究方向为GIS应用、城市与景观生态学。E-mail: xieych09@lzu.edu.cn

通讯作者: 巩 杰, 副教授。E-mail: jgong@lzu.edu.cn

本文拟以中国西北干旱区河西走廊中段的绿洲农业和旅游历史名城——甘肃省酒泉市肃州区为研究对象,对比分析酒泉市肃州区4个不同方向道路扩展轴上的城乡景观格局变化,探讨绿洲城市化过程中不同方向扩展轴景观格局梯度的时空变化特征和规律,为绿洲城市发展和规划提供科学依据。

1 研究区概况

酒泉市肃州区(39°10′N~39°59′N, 98°12′E~99°18′E, 2001年撤地建市,即原酒泉市更名为肃州区,原酒泉地区改为酒泉市)位于西北干旱区内陆河流域,古为丝绸之路的边塞要镇,是今甘肃省酒泉市政府所在地,南依祁连山,北隔夹金山与金塔县相望,东与高台县、肃南县接壤,西与嘉峪关市为邻。境内地势平坦开阔,海拔1350~1660m,气候干燥,降水稀少,蒸发量大,昼夜温差明显,日照时间长,风沙多。年平均气温7.3℃,年降水量85.3mm,年蒸发量2148.3mm,年日照时数3033.4h,无霜期130d左右,属于大陆性温带干旱荒漠气候。自然植被成分单一且稀疏,多为荒漠耐旱种属。酒泉市肃州区主城区位于北大河东岸,是典型的绿洲农业和历史文化旅游城市,近年来肃州城区沿国道312线和省道214线扩张明显(图1)。国道312公路是连接江苏连云港与新疆霍尔果斯口岸的东西向主要国家交通干线之一,其酒泉市段是在古代丝绸之路驿道的基础上多次拓宽建设起来的,是酒泉市主要交通命脉之一。省道214线(又称甘漠大道)始建于1946年,是连接甘肃省酒泉市至内蒙古额济纳旗的省际干线公路。酒泉市内的省道214线以市中心为界,北段又称为酒(泉)金(塔)公路,是酒泉市肃州区通往金塔县的主要干道;南段是酒(泉)西(洞)公路,为酒泉市区至酒泉火车站和西洞镇的干线公路(图1)。

2 研究数据与方法

2.1 数据源与景观分类

本研究遥感卫星影像数据来源于1996年、2006年和2010年TM/ETM+遥感数据(Path 135/Row 32),图像质量良好,无云层覆盖,其他资料包括从Google Earth软件下载的卫星影像、1:10万地形图和酒泉市行政区划图(2007年)。利用ERDAS 9.3软件对遥感影像做几何精校正(误差控制

在0.5个像元以内)、图像增强等预处理,然后采用非监督分类、定义图像判读标志和分类管理器相结合的方法进行分类、合并和重分类,获得3个时期酒泉市肃州区景观类型空间信息,再通过野外实地调查和其他辅助数据对分类结果进行补充修正和检验。参照全国土地利用分类方法,并结合当地的实际情况,将研究区景观类型分为6类:耕地、灌丛草地(含灌丛和草地)、水体、城市绿地(含城市园林绿地、苗圃和公园等)、建设用地(含居民商服用地、工矿及交通用地)和未利用地,最终建立酒泉市景观类型属性数据库。利用ArcGIS9.3软件将矢量数据转化为栅格数据,栅格大小2m×2m。

2.2 样带布设与移动窗口设计

梯度分析与移动窗口法结合能够较好地反映城市空间格局动态变化,表征景观格局变化与城市化程度之间的关系^[21,24]。为了对比分析4条不同道路扩展轴景观格局随梯度的变化,本研究以酒泉市市中心(钟鼓楼)为原点,分别沿国道312线东段酒(泉)清(水)公路、西段酒(泉)嘉(峪关)公路、省道214线南段酒(泉)西(洞)公路、北段酒(泉)金(塔)公路布设4个样带,样带宽度均为5km(图1)。根据市中心沿不同方向扩展轴至相邻的乡镇或行政边界的扩展长度范围,沿酒嘉和酒西公路方向的样带长度取12.5km,沿酒清和酒金公路方向的样带分别是17.5km和20km。采用移动窗口法进行梯度分析窗口,窗口大小为5km×5km,移动步长为2.5km,这样沿酒嘉和酒西公路的样条都将划分为4个5km×5km的正方形窗口,酒清和酒金公路样条类分别划分为6个和7个5km×5km的正方形窗口。似于求出时间序列的移动平均,此方法可以修正许多由于小尺度和局部变化所引起的噪声^[14,17,22,24]。样带、移动窗口的设计及研究区景观类型分布见图1。

2.3 景观格局指数

景观指数高度浓缩景观格局信息,能很好地定量反映景观结构组成和空间配置的某些特征^[11,25,26]。根据研究区总体景观格局特征,本研究选取斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)和香农多样性指数(SHDI),拟从破碎度、优势度、形状和多样性等角度探讨研究区景观的梯度变化特征。景观指数的计算利用Fragstats3.3软件,各指数的计算公式及生态学意义详见该软件的帮助文件。

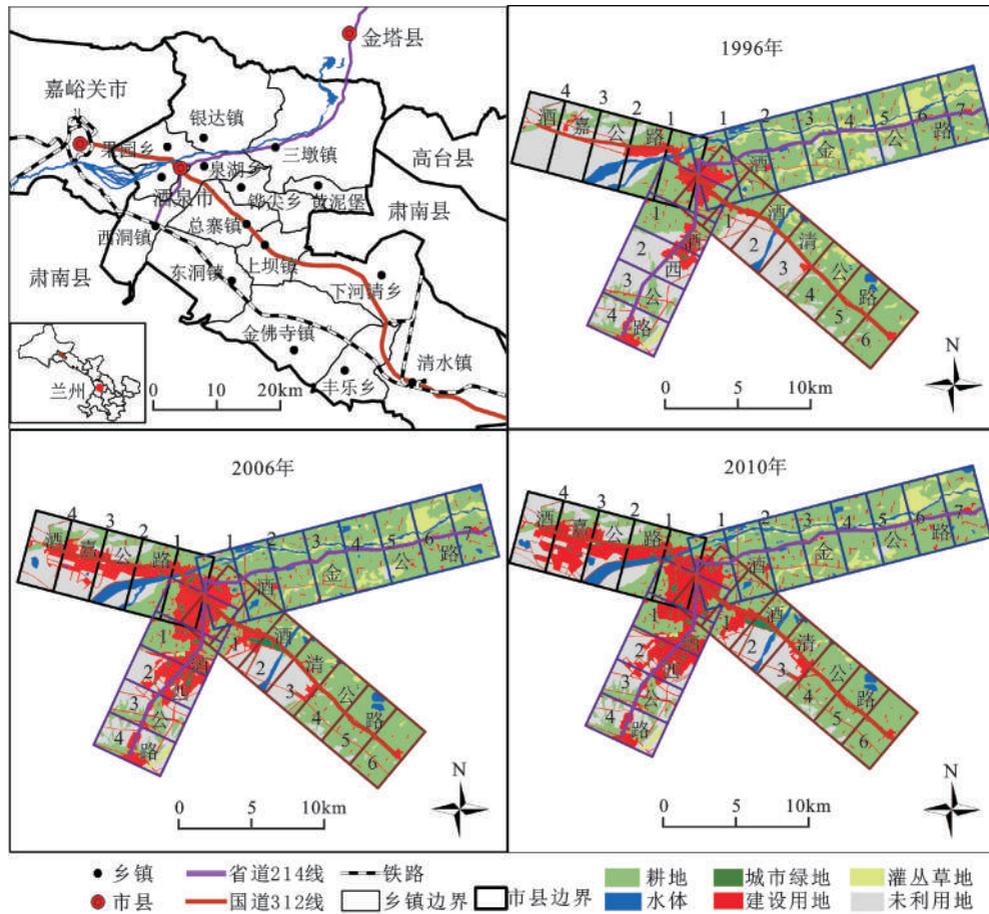


图1 研究区样带、移动窗口及景观类型空间分布

Fig. 1 Transects, moving window and landscape classification of the study area

3 结果与分析

3.1 不同城市扩展轴样带景观变化分析

由图1和表1可知,酒泉市肃州区不同方向道路扩展轴沿线区域的景观与土地覆被变化明显。耕地和未利用地是酒嘉和酒西公路扩展轴方向上的主要景观基质类型,酒清和酒金公路沿线则是耕地占主导地位,其面积比重均在60%以上。1996~2006年,除酒金公路外,其他3个方向扩张轴的建设用地增长速率很快。酒嘉和酒西公路扩展轴方向上未利用地面积快速减少(分别减少了680.77 hm²和826.95 hm²),耕地次之(589.50 hm²和326.44 hm²)。酒清和酒金公路方向的则均是未利用地(分别为441.53 hm²和693.98 hm²)和灌丛草地(333.46 hm²和155.19 hm²)。但从变化幅度上看,城市绿地年均面积变化幅度最大,建设用地次之。2006~2010年建设用地面积增长量仍然最大,变化幅度较大的是城市绿地和建设用地。耕地在

各方向扩展轴上均持续减少,同时酒金公路扩展轴上灌丛草地显著减少,其他方向扩展轴上则是未利用地面积减少量较大。整个研究期间,酒嘉和酒西公路方向扩展轴上未利用地和耕地面积迅速减少并转化为建设用地,致使建设用地面积增加明显;但年均面积变化幅度最大的是城市绿地,分别为24.27%和96.72%。酒清公路扩展轴上变化与酒嘉和酒西公路方向上的相似,但变化的强度相对较弱。酒金公路扩展轴上则是灌丛草地面积变化最大(798.84 hm²),耕地次之(514.98 hm²)。由此可见,1996~2010年肃州城市化主要沿酒嘉公路和酒西公路方向扩张,建设用地面积和规模逐渐增大,而城市化对酒金公路沿线土地利用与景观变化的影响相对较弱。

3.2 不同城市扩展轴上的景观格局变化分析

3.2.1 景观破碎度分析

由图2c可见,随着与城市中心区的距离增加,除酒西公路外,其他方向样带的斑块密度指数值

表1 不同扩展轴上各土地利用类型面积(km²)及其百分比

Table 1 Area (km²) and it's percent of different land-use types along different expansion axes of city

	1996年				2006年				2010年			
	酒嘉	酒西	酒清	酒金	酒嘉	酒西	酒清	酒金	酒嘉	酒西	酒清	酒金
耕地	2442.80	1941.00	5367.96	6618.19	1853.30	1614.56	5325.37	7193.12	1750.30	1610.47	5123.85	7133.17
比重(%)	39.09	31.056	61.35	66.19	29.68	25.83	60.86	71.93	28.00	25.77	59.59	71.33
城市绿地	44.61	9.52	28.15	14.80	178.60	88.63	164.05	14.34	196.18	147.65	205.46	33.76
比重(%)	0.71	0.15	0.32	0.15	2.86	1.42	1.87	0.14	3.14	2.36	2.35	0.34
灌丛草地	5.06	18.88	390.66	2002.35	4.042	22.32	57.20	1308.37	3.99	7.46	101.83	1203.51
比重(%)	0.08	0.30	4.46	20.02	0.06	0.36	0.65	13.08	0.06	0.12	1.16	12.04
水体	75.31	428.08	247.68	376.48	95.09	437.92	289.47	471.74	84.5	402.63	290.66	455.69
比重(%)	1.21	6.85	2.83	3.76	1.52	7.01	3.31	4.72	1.35	6.44	3.32	4.56
建设用地	1208.80	781.90	872.63	744.48	2326.32	1842.89	1409.02	923.92	2503.56	2171.97	1650.73	1067.99
比重(%)	19.34	12.51	9.97	7.44	37.22	29.49	16.1	9.24	40.06	34.75	18.52	10.68
未利用地	2473.41	3070.62	1842.92	243.71	1792.64	2243.67	1401.39	88.52	1711.46	1909.82	1317.46	105.87
比重(%)	39.57	49.13	21.06	2.44	28.68	35.9	16.02	0.89	27.38	30.56	15.06	1.06

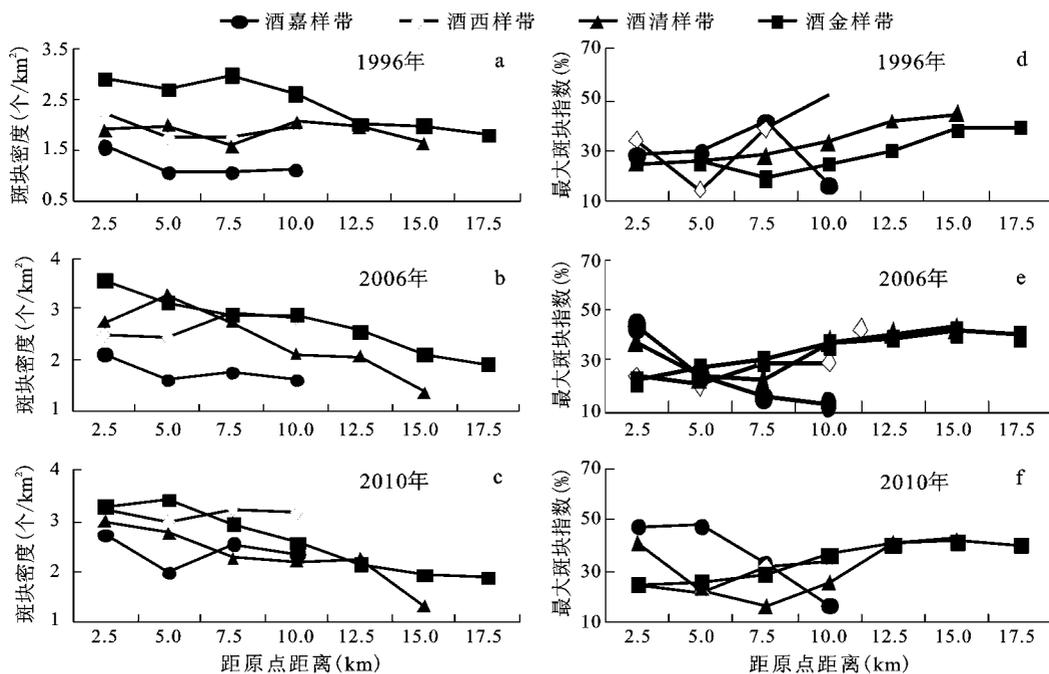


图2 不同城市扩展轴上景观斑块密度(PD)和最大斑块指数(LPI)梯度变化

Fig. 2 Gradient change of PD and LPI in the Landscape-level metrics along different traffic expansion axes

逐渐减少,景观破碎化程度总体呈现降低趋势。研究期内,酒西公路样带上PD曲线峰值出现在始端和末端的2个窗口(即第1和第4窗口)(图2a~c),景观破碎度高,这与城市化进程与建设用地跳跃式发展、酒泉市工业园区和基本农田保护有

关。对酒嘉公路样带而言,景观破碎度指数峰值在第1窗口(0~5 km)处;而酒金和酒清公路样带上则出现在第1~2窗口(大约在0~6 km)。在时间尺度上,各个方向扩展轴上样带总体斑块密度逐渐增加,景观破碎化程度加剧。但在2006~2010年,

酒金公路方向样带的第4~7窗口和酒清公路的第5~6窗口景观破碎化程度表现为下降的趋势,这可能是由于灌丛草地逐渐向耕地转化,使其面积与斑块数量减少。从指数变化率上看,酒嘉公路样带最大(135.18%),酒西公路样带次之(82.86%),酒金公路最小(11.56%),表明沿酒嘉公路和酒西公路扩展轴方向的城市化进程较快,酒清公路次之,酒金公路沿线城市扩展不显著,也间接地反映出国道312线对沿线景观变化影响程度大于省道214线。

3.2.2 景观优势度分析

最大斑块指数(LPI)能在一定程度上间接反映景观的优势度。由图2d~f可见,酒嘉公路样带上,城市的扩张致使郊区(窗口1和2)整体景观的LPI值较高;工业园区(窗口3)则表现为先减少后增加,这可能是原有基质(未利用地)面积逐渐向建设用地转化,各斑块间更加趋向于平衡。酒西公路样带上除了窗口2内景观优势度增加外,其他地方呈现下降的趋势;且在时间尺度上表现出先减少后增加的态势,景观优势度差异趋于减少,这与酒嘉公路扩展轴样带的相似。酒清和酒金公路样带景观优势度变化特征相似,均随着与城区中心距离的增加而增加;在时间尺度

上,靠近城区中心的最大斑块指数值呈现增长的势态,远离城区中心指数值则逐渐降低,说明快速城市化进程正逐渐打破了以耕地为主导地位的景观结构,城郊区域呈现多种景观均势并存的景观格局。

3.2.3 景观形状指数分析

各方向扩展轴样带上景观形状指数在梯度上的变化见图3a~c。随着与城市中心距离的增加,酒嘉和酒西公路样带上景观形状指数总体呈现增加的趋势,但在变化强度上,酒嘉公路样带>酒西公路样带,表明酒嘉公路方向上城市扩展强度和破碎化程度较大,景观形状更为复杂。酒西公路样带上先是城乡交错区景观破碎化增大,斑块形状较为复杂,之后随着时间和距离城市中心距离的增加,景观形状指数值逐渐增高,表明城市化进程对斑块几何形状特征干扰程度增强。酒清公路样带上明显地表现出靠近城区景观形状指数值较高,远离城区景观形状指数值低;且随着时间的增长,景观形状指数逐渐增加。酒金公路样带上景观形状指数变化的规律性不明显。总体上靠近城市中心的区域(窗口1和2),景观形状较复杂,且呈增长的趋势。城市的扩张及城市绿地和鱼塘景观等景观的变化加剧了景观破碎和形状特征的变化。

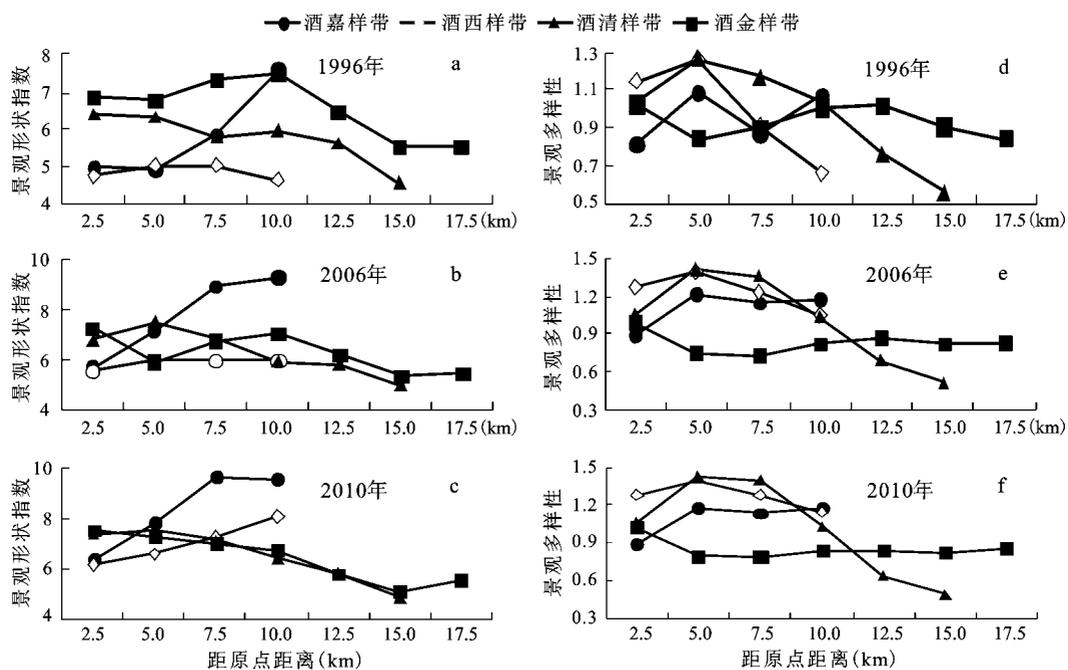


图3 不同城市扩展轴上景观形状指数(LSI)和景观多样性指数(SHDI)的梯度变化

Fig. 3 Gradient change of LSI and SHDI in the Landscape-level metrics along different traffic expansion axes

3.2.4 景观多样性分析

不同扩展轴向样带上景观多样性指数不一致(图3d~f)。酒嘉公路样带上景观多样性呈现波浪状,峰值出现在第2和第4窗口,且随时间呈现增加的趋势。2006年各窗口景观多样性指数最大,2010年次之。酒西样带上景观多样性指数曲线呈现倒“V”型,峰值出现在第2窗口,并随时间持续地增长。从不同道路等级上来看,酒嘉公路(国道312线)整体景观多样性指数值低于酒西公路(省道214线)。这是由于酒嘉公路沿线建设用地的扩张规模和速度均高于酒西公路沿线,且受酒泉-嘉峪关市一体化进程的影响。酒清公路样带上景观多样性指数的变化与破碎度相似,峰值出现在第2窗口,随与城区中心距离的增加而减少。在第4~6窗口(10~17.5 km)景观多样性指数持续下降,表明农村地区的景观优势组分对景观整体的控制作用仍较大。但随着城市扩张,景观多样性和异质性逐渐增大,多种景观均势并存的景观格局正逐渐形成。酒金公路样带上景观多样性指数变化规律不明显,峰值出现在第1窗口,其他窗口差异性较小。在时间尺度上,景观多样性总体呈现增高的态势,但在1996~2006年间景观多样性表现为下降的态势,这可能与灌丛草地减少有关。与酒清公路(国道312线)相比,酒金公路(省道214线)景观多样性数值相对较低,表明省道214线(酒金公路)的城市化进程影响程度及范围小于国道312线(酒清公路)。

4 讨论

1) 城市化进程影响并改变着土地利用和景观覆被的变化。本文以酒泉市肃州区为案例,探讨城市不同道路扩展轴向上景观格局变化特征,结果表明1996~2010年间肃州区城市化对各种景观类型影响差异性突出,各扩展轴上建设用地和城市绿地面积增加明显,未利用地和耕地面积在不同程度上呈现下降减少的趋势。酒嘉和酒西公路扩展轴上突出表现为未利用地向建设用地转化,建设用地面积迅速增加并逐渐成为优势景观类型;酒清和酒金公路扩展轴上灌丛草地面积减少,并转化为耕地和建设用地,这与其他干旱区城市沿交通干线轴向上扩展表现出的“团块-轴向”分布特征相似^[24,25]。

2) 不同等级道路对沿线景观变化的影响存

在一定的差异性。酒嘉公路和酒西公路分别是在国道312线和省道214线基础上扩宽与重建的城市快速通道,且均受城市扩张、经济发展(如工业园区的建设)和政策等的因素影响,故沿线的景观格局变化非常相似,同时沿线城市化进程远远大于酒清和酒金公路。酒清公路(国道312线)和酒金公路(省道214线)均在绿洲内部,但酒金公路对沿线土地利用与景观变化的强度和影响范围相对较弱,城市化进程的规模和速度也相对较低,表明省道214线的影响力小于国道312线。这说明了不同道路等级和城市化进程对绿洲城市景观格局变化的影响作用不同,这与前人的研究相似^[17,23,26,27]。不同道路扩展轴对城乡景观变化的影响是一个极其复杂的过程,今后应结合社会经济与政策等数据,进一步深入探讨不同等级道路扩张轴上城市景观格局变化的驱动机制^[29,30]。

5 结论

研究表明,1996~2010年间酒泉市肃州区土地利用和景观格局总体变化明显,城郊的景观格局变化最剧烈。城市化进程对建设用地和未利用地的影响最大,且沿交通干线轴向上扩展表现出“团块-轴向”的分布特征。

不同等级道路样带上景观格局梯度变化差异明显,酒嘉公路扩展轴上城乡景观变化最剧烈,酒西公路次之,酒金公路样带上变动相对最小。整体景观朝多样化和破碎化的方向发展,部分区域景观聚集度增加。在时间尺度上,各扩展轴上景观指数变化明显,城市郊区大于绿洲农业区。

景观梯度分析法是定量研究城市化及其景观格局变化的重要手段和工具,适用于同一城市不同时期景观格局动态变化的比较和分析,以及景观格局与城市生态过程之间的关系。本研究也表明,景观生态学与梯度分析法相结合,能够较好地反映绿洲城市化过程及其景观梯度变化,在绿洲城市景观格局变化研究方面具有一定的应用前景。

参考文献:

- [1] Lin T, Xue X, Huang J, et al. Assessing egret ecological safety in the urban environment: A case study in Xiamen, China [J]. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2008, 15(4):383-388.
- [2] 张琳琳,孔繁花,尹海伟,等.基于景观空间指标与移动窗口的济南城市空间格局变化[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(8): 1591~

- 1598.
- [3] 龙爱华,徐中民,程国栋,等.河西走廊绿洲城市化及可持续对策[J].中国人口·资源与环境,2002,12(5):56~59.
- [4] 杜宏茹,刘毅.我国干旱区绿洲城市研究进展[J].地理科学进展,2005,24(2):69~79.
- [5] 谢余初,巩杰,赵彩霞,等.嘉峪关市城市化进程及景观格局动态变化[J].生态学杂志,2012,31(4):1009~1015.
- [6] 朱磊,罗格平,许文强,等.干旱区绿洲城市土地利用变化及其生态环境效应分析——以乌鲁木齐市为例[J].干旱区资源与环境,2008,22(3):13~19.
- [7] 李春华,张小雷,王薇.新疆城市化过程特征与评价[J].干旱区地理,2003,26(4):396~401.
- [8] Xie YC, Robert W, Fang CL, et al. The urban system in West China: A case study along the mid-section of the ancient Silk Road - He-Xi Corridor [J]. *Cities*, 2007,24(1): 60-73.
- [9] Aljoufie M, Brussel M, Zuidgeest M, et al. Urban growth and transport infrastructure interaction in Jeddah between 1980 and 2007[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013, 21:493-505.
- [10] 梅志雄,徐颂军,欧阳军.珠三角公路通达性演化及其对城市潜力的影响[J].地理科学,2013,33(5):513~520.
- [11] 邬建国.景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第2版)[M].北京:高等教育出版社,2007.
- [12] 王辉,周睿,毕晓丽,等.泾河流域平凉市城市化影响下景观格局梯度分析[J].生态学杂志,2006,25(12):1476~1480.
- [13] Müller F. Gradients in ecological systems [J]. *Ecological Modelling*, 1998, 108(1-3): 3-21.
- [14] Luck M, Wu J G. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA [J]. *Landscape Ecology*, 2002, 17(4): 327-339.
- [15] Yeh C T, Huang S L. Investigating spatiotemporal patterns of landscape diversity in response to urbanization [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 93(3-4):151-162.
- [16] Ivits E, Cherlet M, Mehl W, et al. Ecosystem functional units characterized by satellite observed phenology and productivity gradients: A case study for Europe [J]. *Ecological Indicators*, 2013, 27: 17-28.
- [17] 李俊祥,王玉洁,沈晓虹,等.上海市城乡梯度景观格局分析[J].生态学报,2004,24(9):1973~1980.
- [18] Weng Y C. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007,81: 341-353.
- [19] 周锐,李月辉,胡远满,等.苏南典型乡镇景观梯度变化[J].生态学杂志,2011,30(2):320~326.
- [20] Shrestha M K, York A M, Booneb C G, et al. Land fragmentation due to rapid urbanization in the Phoenix Metropolitan Area-Analyzing the spatiotemporal patterns and drivers[J]. *Applied Geography*, 2012, 32(2): 522-531.
- [21] 陈奕兆,黄家生,李建龙.利用景观梯度法分析张家港市城市景观变化[J].生态与农村环境学报,2011,27(1):104~108.
- [22] Zhang L Q, Wu J P, Zhen Y, et al. A GIS-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area, China [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69(1):1-16.
- [23] 黄宁,吝涛,章伟婕,等.厦门市同安区不同扩展轴上的景观格局梯度分析与比较[J].地理科学进展,2009,28(5):767~774.
- [24] Kong F H, Nobukazu N. Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006,78(3):147-164.
- [25] Solon J. Spatial context of urbanization: Landscape pattern and changes between 1950 and 1990 in the Warsaw metropolitan area, Poland [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 93(3-4): 250-261.
- [26] Buyantuyev A, Wu J G, Gries C. Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: Time, space and thematic resolution [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 94(3-4): 206-217.
- [27] 董雯,张小雷,王斌,等.乌鲁木齐城市用地扩展及其空间分异特征[J].中国科学(D辑):地球科学,2006,36(增):148~156.
- [28] 翟继武.近二十二年呼和浩特城市扩展研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2008.
- [29] 方创琳.中国城市群形成发育的新格局及新趋向[J].地理科学,2011,31(9):1025~1034.
- [30] 陆大道.地理学关于城镇化领域的研究内容框架[J].地理科学,2013,33(8):897~901.

Gradient Analysis and Comparison of Landscape Pattern Along Different Traffic Expansion Axes of Oasis City in the Arid Area of China

XIE Yu-chu, GONG Jie, WANG He-ling, SUN Peng, QIAN Da-wen

(Collaborative Innovation Centre for Arid Environments and Climate Change, Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education), Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: The quantification of landscape pattern gradient change along urban expansion axis was not only an important method to understand oasis urbanization process, but also was the way prerequisite for the evaluation of ecological processes and mechanism that affect landscape pattern change dynamics. On the basis of remote sensing and GIS technology, jointing methods of landscape pattern metrics with gradient analysis was used to study the spatial-temporal change of landscape pattern along different road expansion axes of Jiuquan City. The expansion axes included Jiuqia road and Jiuxi road transects with 12.5 km length and 5 km width and transects along Jiuqing road and Jiujin road with width of 5 km and length of 17.5 km and 20 km, separately. Comparison analysis was made among these roads transects from 1996 to 2010. The results showed that landscape pattern changed greatly along different road expansion axes. Constructed land and urban green land increased rapidly while unused land and farmland decreased gradually, and promptly converted to constructed land in the Jiuqia road transect and Jiuxi road transect. The character of urbanization was “clumps - axial” along road expansion axes of Jiuquan city. Due to urbanization, landscape heterogeneity and landscape diversity were increase, the landscape shape become more complex along Jiuqia road and Jiuxi road. The landscape pattern dominated by the unused land was converted to an urban landscape dominant pattern gradually. However, along the Jiujin road, urbanization didn't affected obviously on landscape shape complexity and fragmentation. With the increase of distance from the city center, the landscape patch density, landscape shape index and the landscape heterogeneity decreased along the Jiujin road and Jiuqing road. And with the decreasing of dominance of farmland, the landscape converted into a uniformly coexistent pattern of constructed land, farmland, green land and unused land. Summarily, there were different characters of urbanization and urban landscape gradient change of different road grades; the extent of landscape changing were Jiuqia road>Jiuxi road>Jiuqing road>Jiujin road. The landscape indices of urban suburbs changed more apparently than oasis agriculture area in the time scale.

Key words: urbanization; urban road expansion axis; landscape pattern change; gradient analysis; oasis city; arid area of China