

大庆市景观格局变化梯度分析

杨昕^{1,3}, 王俊杰² (1. 哈尔滨石油学院, 黑龙江哈尔滨 150028; 2. 黑龙江科技大学, 黑龙江哈尔滨 150022; 3. 黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150025)

摘要 定量分析地区景观格局梯度变化的内在规律, 对于监测和评价快速城市化过程的生态后果有着重要的现实意义。运用 RS 和 GIS 技术, 基于大庆市 1996、2001 和 2005 年的 TM 和 ETM⁺ 遥感影像, 获得 3 个时期的景观类型图, 选取西北向东南 60 km 长 5 km 宽和东北向西南 105 km 长和 5 km 宽的两条样带, 应用移动窗口计算了相应的景观指数。结果表明, 城市空间格局的多项景观指数可准确、定量地指示研究区两条发展轴线上 10 年来城市化的景观梯度时空分异特征, 有助于理解城市形态的内在发展过程。

关键词 景观格局; 景观指数; 梯度分析; 资源型城市

中图分类号 S127; P98 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)13-128-04

Research on the Landscape Pattern Change of Daqing City

YANG Xin^{1,3}, WANG Jun-jie² (1. Harbin Institute of Petroleum, Harbin, Heilongjiang 150028; 2. Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin, Heilongjiang 150022; 3. Heilongjiang Colleges Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment, Harbin, Heilongjiang 150025)

Abstract The inherent law of landscape pattern gradient change in the region was quantitatively analyzed; the result offers an important basis for monitoring and evaluating the ecological consequences of rapid urbanization process. Using the landsat TM and ETM⁺ data of Daqing in 1996, 2001 and 2005 to get three landscape type maps and choose the northwest to the southeast of 60 km long and 5 km width, and the northeast to southwest 105 kilometers long and 5 km wide two kind of belt, the landscape metrics was calculated by moving windows. The result revealed that landscape index of urban spatial pattern could accurately and quantitatively indicate temporal and space differentiation characteristics of landscape gradient on two urbanization development axis during 10a in the study area and provided the insight to understand the inner development process of urban form.

Key words Landscape pattern; Landscape metrics; Gradient analysis; Resource-based cities

资源型城市是在开发利用能源、矿产资源基础上兴起的, 以消费一定数量的自然资源赖以生存发展起来的特殊城市类型, 具有强烈的资源指向性。资源型城市也是人地关系作用最强烈的区域, 在发展过程中普遍存在着资源危机、经济危困和生态危机等问题, 严重制约着城市的转型和可持续发展^[1-3]。城市化引起的生态环境问题和城市景观演变一直是地理学家、生态学家、城市规划学家、环境学家和社会学家等研究的焦点^[4]。景观生态学研究的关键是空间异质性, 而空间异质性研究中空间梯度是指沿某一方向景观特征有规律地逐渐变化的空间特征^[5]。近些年一些学者为此进行了有益的尝试, 将梯度分析与景观格局指数相结合, 来研究城市化与生态系统、土地利用变化和景观格局之间的关系^[6-16], 但此类研究在资源型城市中很少见。因此, 运用遥感、GIS 等空间分析等先进手段, 通过定量分析大庆市景观格局的时空梯度变化, 揭示其景观格局时空变化规律, 为资源型城市可持续发展和生态环境保护提供科学的决策依据。

1 研究区域概况

大庆市位于 124°19' ~ 125°12' E, 45°46' ~ 46°55' N, 土地总面积 5 107 km², 滨洲铁路从市中心穿过, 滨洲线、让通线在市内交会, 辖萨尔图、龙凤、让胡路、红岗、大同 5 区, 是我国最重要的石油生产基地之一。属中温带大陆性半干旱、半湿润季风气候区, 多年平均降水量均在 400 ~ 450 mm, 夏季降水量占全年降水量的 70.0% ~ 72.3%。研究区特有的气候条件、光热条件、水资源条件、土壤条件、地质地貌条件以及人

类活动影响, 常有干旱、洪涝、低温冷害和霜冻害、大风和沙尘暴等自然灾害, 是生态环境脆弱区。随着哈大齐工业走廊的进一步开发建设, 大庆市的土壤盐碱化、沙化、湿地萎缩、植被退化等生态环境问题日益突出, 该地区土地生态安全正遭到严重的威胁。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源 文中 1996 年、2001 年和 2005 年 3 个时期的城市景观类型数据(图 1)来源于相应年份的 TM 和 ETM⁺ 遥感影像^[3,17]。城市景观类型的划分是基于国家标准《城市用地分类与规划建设用地标准》(GBJ137-90), 并结合大庆市土地利用特征重新分类, 共分居住及工矿用地(A)、道路用地(B)、水域(C)、耕地(D)、林地(E)、牧草地(F)和其他用地(G)7 类。以人口比例指标来确定大庆市区的城市化强度(表 1)。

2.2 研究区样带的选取 依据大庆市城市化强度的空间梯度, 选取具有代表性的两条样带^[6,14-16], 即西北-东南向的 A 样带和东北-西南向的 B 样带(图 2)。A 样带自西北向东南沿横向铁路穿过让胡路、萨尔图、龙凤 3 个区, 样带长 60 km, 宽 5 km。在此样带上设立 5 km × 5 km 的移动窗口^[6,14-16], 沿着样带由西北向东南每移动 2.5 km, 取样一次, 窗口依次编号 a1 ~ a23。B 样带自东北向西南贯通萨尔图、红岗、大同 3 个区, 样带长 105 km, 宽 5 km, 沿着样带由西北向东南依次取样, 窗口编号 b1 ~ b41。

2.3 景观格局指数的选取 文中采用景观指数分析方法, 对研究区城市化的空间格局特征进行分析。采用的代表性指数有斑块密度(PD)、斑块形状指数(LSI)、最大斑块指数(LPI)、Shannon 多样性指数(SHDI)等^[18]。

基金项目 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11553015)。

作者简介 杨昕(1980-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 讲师, 硕士, 从事“3S”技术与生态环境效应研究。

收稿日期 2015-03-13

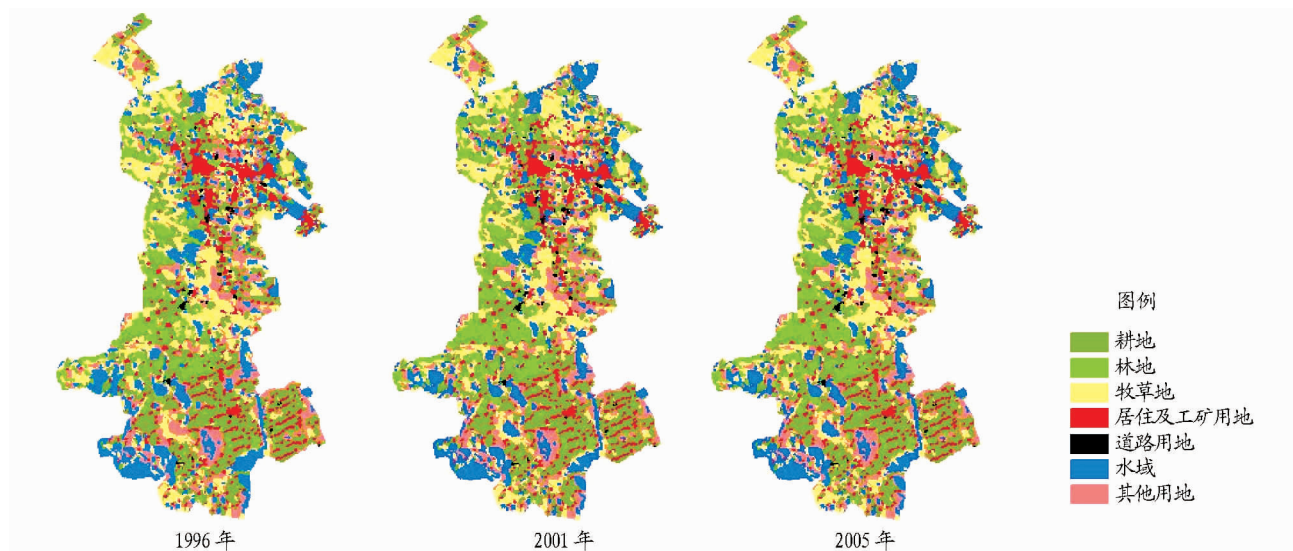


图1 大庆市景观类型

表1 大庆市区人口数

年份	区域	总人口	城镇人口	农村人口	城市化水平
		万人	万人	万人	%
1996	市区	104.74	78.30	26.44	74.76
	萨尔图	23.40	22.99	0.41	98.25
	龙凤路	15.40	12.64	2.76	82.08
	让胡路	28.15	25.68	2.47	91.23
	红岗	14.44	11.59	2.85	80.26
	大同	23.35	5.40	17.95	23.13
2001	市区	112.93	86.11	26.82	76.25
	萨尔图	23.08	22.98	0.10	99.57
	龙凤路	15.99	13.41	2.58	83.86
	让胡路	35.52	32.69	2.83	92.03
	红岗	13.80	10.92	2.88	79.13
	大同	24.54	6.11	18.43	24.90
2005	市区	122.33	96.54	25.79	78.92
	萨尔图	28.56	28.55	0.01	99.96
	龙凤路	16.67	14.00	2.67	83.98
	让胡路	40.13	37.50	2.63	93.45
	红岗	13.33	10.27	3.06	77.04

注:资料来源于1997、2002、2006年大庆统计年鉴。

3 结果分析

3.1 大庆市景观格局总体变化特征 1996年、2001年、2005年3个时段城市景观图(图1)显示的总体特征是,耕地占据主体地位并呈逐年上涨的趋势(图3a),牧草地和其他用地也占有较高比例,分别为20%和22%,其他用地占较高比例的主要原因是土地沙化、盐碱化严重。其余类型的面积比例都不超过10%,林地面积变化虽然不明显,却是逐年增加的,这与大庆市近年来开展的大规模的植树造林活动是分不开的。

由图3可知,大庆市平均斑块密度(图3b)为0.06个/ km^2 ,居住及工矿用地(A)的斑块密度最大,接近0.12个/ km^2 ,2005年较前两个时段增长幅度大,这是随着油气的不断发现和开采,油田等工矿用地规模不断增大,工业化城市化的必然结果。牧草地、其他用地和水域的斑块密度比较接近,约为0.06个/ km^2 ,而斑块密度最小的是道路用地,其

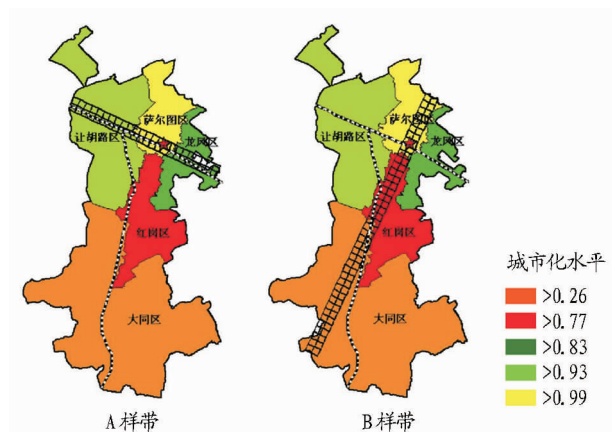


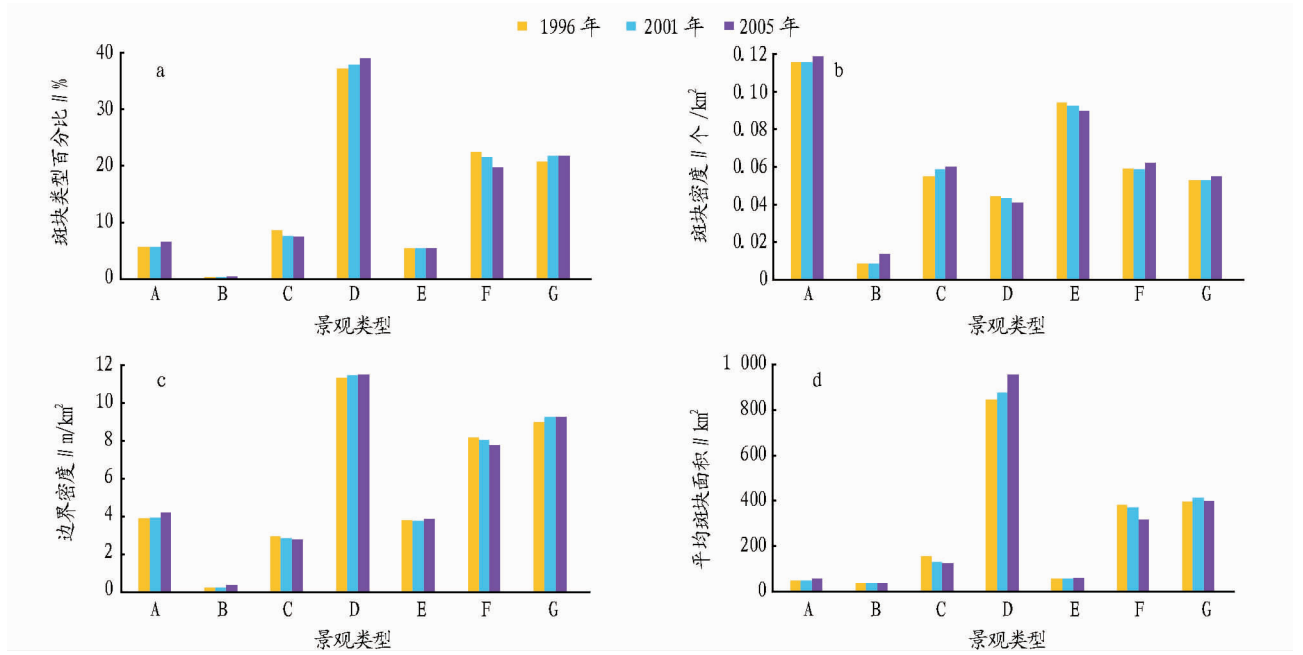
图2 大庆市景观格局梯度分析样带

边界密度(图3c)也是最小,仅为0.3 m/km^2 。整个大庆市除道路用地以外的其他景观类型的边界密度可分为两个层次,耕地、牧草地和其他用地居高,居住及工矿用地、水域和林地次之。3个时段相比较居住及工矿用地的边界密度增长幅度最大。总体面积上占优的耕地在平均斑块面积(图3d)上具有着同样的优势,3个时段均处于8~10 km^2 之间,而其余类型的平均斑块面积都远远低于耕地,介于0.4~4.2 km^2 不等。

3.2 景观指数沿样带变化的梯度性 两条样带上3个时段的变化趋势基本相同,且多项景观指标沿样带都表现出明显的梯度性:由低城市化区域向高城市化区域推进的过程中,景观的破碎化程度逐渐上升,斑块的形状更加狭长,边界也趋向复杂,斑块面积减小且趋于平均化,表现出人类活动影响较大的景观所具有的特征。

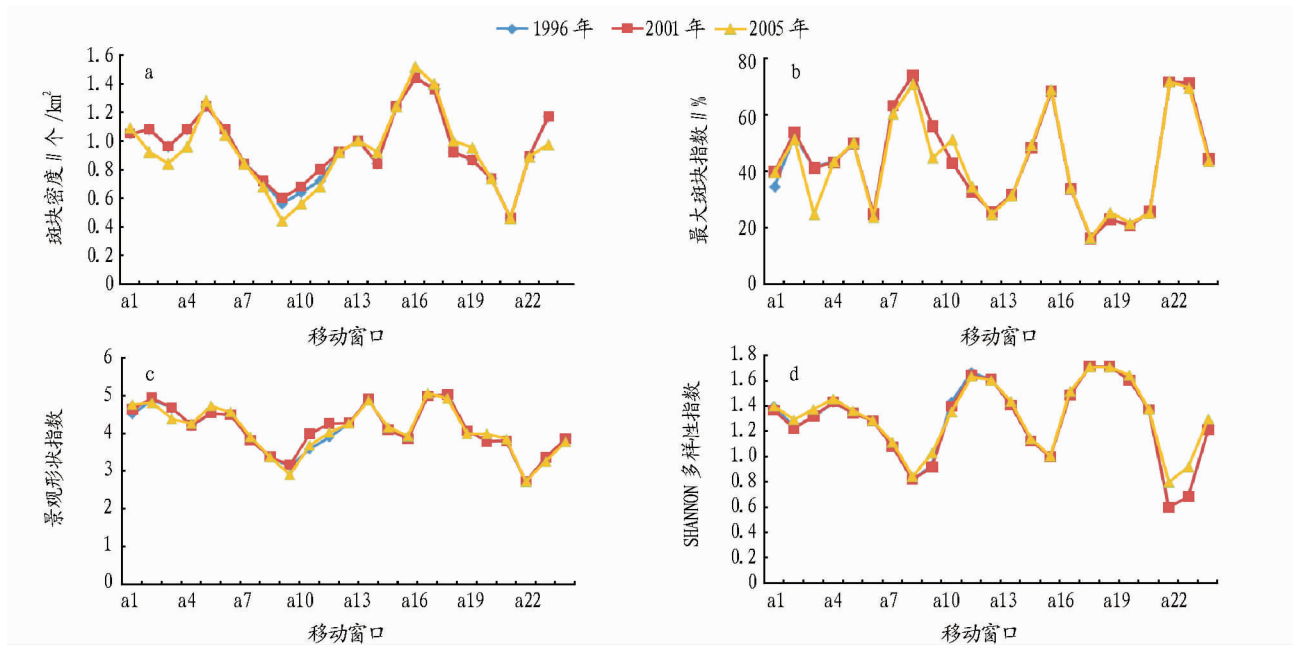
3.2.1 景观破碎度分析。由图4(a)看出:时间尺度上指数的变化表现出相同的趋势,斑块密度(PD)沿A样带在高城市化区域萨尔图区指数出现一个极大值,而随着距市中心距离的增加,指数呈下降趋势,一段距离后左右两侧又分别呈上升趋势后又下降,这是因为位居萨尔图区东西两侧的让胡路区与龙凤区的城市化水平与萨尔图区接近,指数均高于其周边地区,表现出明显的梯度性。高值分别出现在窗口编号

a16(萨尔图区), a5(让胡路区), a20(龙凤区), 且样带西北端的指数值略高于东南端。



注:图 a 为斑块类型百分比,图 b 为斑块密度,图 c 为边界密度,图 d 为平均斑块面积。

图 3 大庆市景观格局总体特征



注:图 a 为斑块密度(PD),图 b 为最大斑块指数(LPI),图 c 为景观形状指数(LSI);图 d 为 SHANNON 多样性指数(SHDI)。

图 4 A 样带景观水平指数沿样带变化

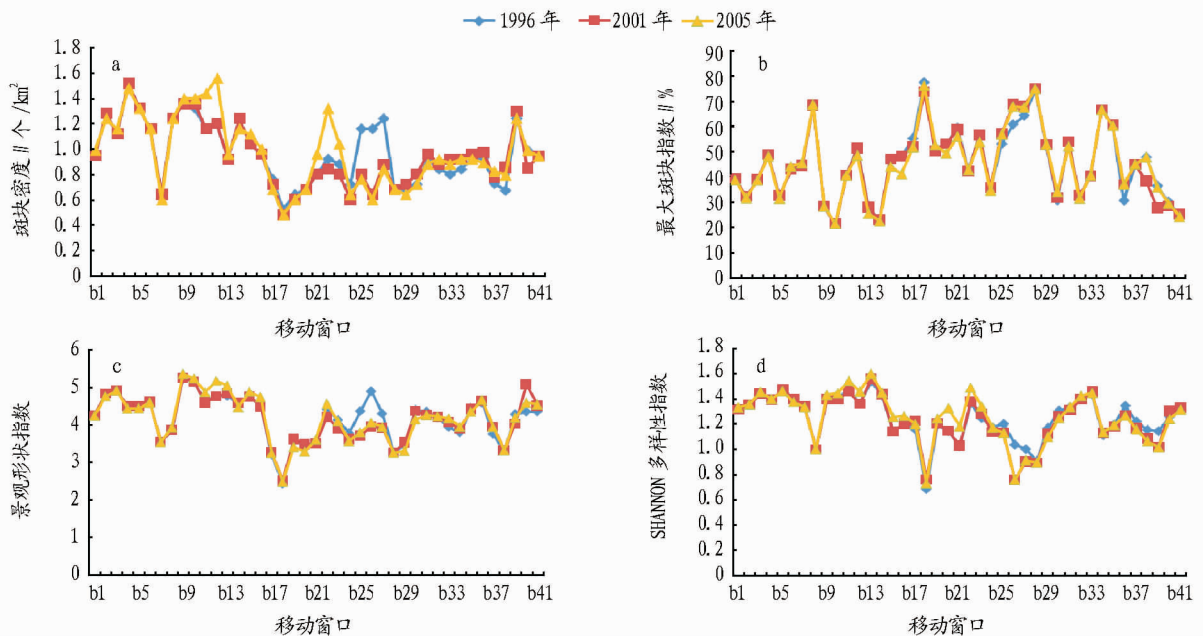
图 5(a)可知样带变化比较复杂且有多峰和低谷,这主要是因为沿 B 样带的 3 个不同城市化强度区域(萨尔图、红岗、大同)城市化强度变化幅度大,在红岗和大同两个区城市化水平较低,所以指数的变化幅度较小,梯度性没有 A 样带那么明显。峰值出现在市中心(b11)附近,时间尺度上窗口编号 b25 ~ b27 2001 年和 2005 年的指数明显低于 1996 年,原因是 1996 年大片的牧草地转化为林地,窗口内斑块类型减少趋于单一,这与大庆开展的大规模的植树造林活动是分不开的,并经历了以“隐蔽油田、防风固沙”为主的零

星植树期到“工程造林、规模推进”的发展阶段。由于大同区城市化水平最低,导致在 b21 ~ b41 上下不断起伏,变化幅度很小。指标的变化表现不出明显的梯度性。

3.2.2 景观优势度分析。最大斑块指数(LPI)在一定程度上能够间接反映出景观优势度。由图 4(b)、图 5(b)可知, LPI 表现出中间低、两边先升高再降低的特点,在 a16 附近形成一个“W”字型曲线,在城市区(窗口编号为 a11 ~ a17, a5, a20, b11, b24, b36) LPI 普遍较低,随着距城市距离的增加 LPI 升高,即窗口内最大的斑块面积占整个窗口面积的 1/3;而样

带两端窗口内的最大斑块都占据了整个窗口面积的 50% 以上,相对面积较小的窗口使农业斑块被切割,这也从侧面表明了斑块在面积上的差异更为明显。由于 a8 和 b18 内耕地

占据了整个窗口的绝大部分且景观类型少,从而在此处分别形成两个样带的峰值。



注:图 a 为斑块密度(PD),图 b 为最大斑块指数(LPI),图 c 为景观形状指数(LSI);图 d 为 SHANNON 多样性指数(SHDI)。

图 5 B 样带景观水平指数沿样带变化

3.2.3 景观形状指数分析。由图 4(c)和图 5(c)可知, LSI 峰值出现在市中心附近 a16, b11,说明离市中心越近斑块形状越趋于复杂化。其余几个高值也都是出现在城市区域,只不过 LSI 的较市中心低些,表现出城市化水平的与该指数之间存在一定的相关性;在时间尺度上,斑块形状指数和分维数的变化幅度较 A 样带大,但仍然表现出没有一定的规律性,这种差异的幅度增大了,且峰值出现在 b26,2005 年其形状指数为 3.94,分维数为 1.16,更加突出了斑块之间规则性的差异。

3.2.4 景观多样性分析。图 4(d)为了衡量斑块种类沿样带的变化特征,选取多样性指数(SHDI)进行分析,3 个指标中后两者的变化特征基本一致,斑块丰富度密度略有不同。多样性指数在 3 个不同城市化强度区域内表现出明显的梯度性,整体看上去像是一个波浪状,表明在各个区的中心区附近景观类型多样;反之亦然,类型单一的景观中其面积分布也较为集中。

与 A 样带相比,图 5(d)更加复杂,且没有一定的规律性。由于中心城区被大量的居住用地和道路所占据,使得开发活动最为活跃的各区域交错带具有较大的景观异质性和景观多样性,但是这种景观多样性有别于生态学上传统的多样性,它只能表示人类对地利用方式的多样化,并不表明系统具有更大的稳定性。

4 结论

(1)研究的梯度分析是沿大庆市区内 5 个子区不同的城市化强度进行的,3 个时段的总体变化趋势基本相同,但 B 样带表现的梯度性没有 A 样带明显,原因是沿 B 样带的 3 个

不同城市化强度区域(萨尔图、红岗、大同)的城市化水平比沿 A 样带的 3 个不同城市化强度区域(让胡路、萨尔图、龙凤)变化幅度大,但在各区内景观上的差别反而小,所以指数的变化幅度较小。

(2)研究结果显示出大庆市景观格局在斑块密度、形状指数、聚集度和多样性指数等多项指标都表现出了明显的规律性,居住及工矿用地沿自西北—东南和自东北—西南两样带都显示了在城市中心达到峰值,在离开中心一段距离时又出现较高值的梯度特征(资源型城市独有的特点),而农业用地则显示了不同的、多峰值的梯度特征。

(3)大庆市景观特征是多种因素综合作用的结果。距离城市中心的距离,沿两样带可以识别出不同城市化强度的区域,高城市化区域不仅表现出了高度的景观破碎化和空间复杂性,而且也拥有较高的景观多样性与分离度;道路加速城市中能流物流的同时,对其他斑块类型却表现出强大的阻隔和破碎作用,体现在景观斑块密度的上升和聚集度的下降。

因而,景观格局梯度分析可用来比较城市不同时间、空间的动态变化情况,有助于理解形成城市形态的各种内在过程。

参考文献

- [1] 刘金友,段长存,王永启.我国资源型城市存在的问题及出路[J].理论前沿,2000(14):31-32.
- [2] 张秀生,陈先勇.中国资源型城市可持续发展现状及对策分析[J].华中师范大学学报,2002,41(2):117-120.
- [3] 臧淑英,张晶,于兵.资源型城市景观动态及其生态环境效应研究[J].自然科学进展,2005,15(2):321-328.

- 1492.
- [25] BANG S, JOHNSON M D, KORFIATIS G P, et al. Chemical reactions between arsenic and zero-valent iron in water [J]. *Water Research*, 2005, 39(5): 763–770.
- [26] KOBER R, DAUS B, EBERT M, et al. Compost-based permeable reactive barriers for the source treatment of arsenic contaminations in aquifers: Column studies and solid-phase investigations [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39(20): 7650–7655.
- [27] SU C M, PULS R W. Arsenate and arsenite removal by zerovalent iron: Effects of phosphate, silicate, carbonate, borate, sulfate, chromate, molybdate, and nitrate, relative to chloride [J]. *Environmental Science & Technology*, 2001, 35(22): 4562–4568.
- [28] DIXIT S, HERING J G. Comparison of arsenic(V) and arsenic(III) sorption onto iron oxide minerals: Implications for arsenic mobility [J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, 37(18): 4182–4189.
- [29] ROBERTS L C, HUG S J, RUETHIMANN T, et al. Arsenic removal with iron(II) and iron(III) waters with high silicate and phosphate concentrations [J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38(1): 307–315.
- [30] MUNOZ J A, GONZALO A, VALIENTE M. Arsenic adsorption by Fe(III)-loaded open-celled cellulose sponge. Thermodynamic and selectivity aspects [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, 36(15): 3405–3411.
- [31] GUO X J, CHEN F H. Removal of arsenic by bead cellulose loaded with iron oxyhydroxide from groundwater [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39(17): 6808–6818.
- [32] DRIEHAUS W, JEKEL M, HILDEBRANDT U. Granular ferric hydroxide - a new adsorbent for the removal of arsenic from natural water [J]. *Journal of Water Services Research and Technology-AQUA*, 1998, 47(1): 30–35.
- [33] BADRUZZAMAN M, WESTERHOFF P, KNAPPE D R U. Intraparticle diffusion and adsorption of arsenate onto granular ferric hydroxide(GFH) [J]. *Water Research*, 2004, 38(8): 4002–4012.
- [34] CHEN R Z, ZHI C Y, YANG H, et al. Arsenic(V) adsorption on Fe₃O₄ nanoparticle-coated boron nitride nanotubes [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2011, 359(1): 261–268.
- [35] KUMAR V, TALREJA N, DEVA D, et al. Development of bi-metal doped micro- and nano multi-functional polymeric adsorbents for the removal of fluoride and arsenic(V) from wastewater [J]. *Desalination*, 2011, 282: 27–38.
- [36] GUO X J, DU Y H, CHEN F H, et al. Mechanism of removal of arsenic by bead cellulose loaded with iron oxyhydroxide (beta-FeOOH): EXAFS study [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2007, 314(2): 427–433.
- [37] BAJPAI S, CHAUDHURI M. Removal of arsenic from ground water by manganese dioxide-coated sand [J]. *Journal of Environmental Engineering-Asce*, 1999, 125(8): 782–784.
- [38] MANNING B A, FENDORF S E, BOSTICK B, et al. Arsenic(III) oxidation and arsenic(V) adsorption reactions on synthetic birnessite [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, 36(5): 976–981.
- [39] ZHANG G S, QU J H, LIU H J, et al. Preparation and evaluation of a novel Fe/Mn binary oxide adsorbent for effective arsenite removal [J]. *Water Research* 2007, 41(9): 1921–1928.
- [40] SILVA G C, ALMEIDA F S, FERREIRA A M, et al. Preparation and application of a magnetic composite (Mn₃O₄/Fe₃O₄) for removal of As(III) from aqueous solutions [J]. *Materials Research-Ibero-American Journal of Materials*, 2012, 15(3): 403–408.
- [41] ZHAO Z, LIU J, CUI F, et al. One pot synthesis of tunable Fe₃O₄-MnO₂ core-shell nanoplates and their applications for water purification [J]. *Journal of Materials Chemistry*, 2012, 22(18): 9052–9057.
- [42] SHAN C, TONG M. Efficient removal of trace arsenite through oxidation and adsorption by magnetic nanoparticles modified with Fe-Mn binary oxide [J]. *Water Research*, 2013, 47(10): 3411–3421.
- [43] HAN D S, ABDEL-WAHAB A, BATCHELOR B. Surface complexation modeling of arsenic(III) and arsenic(V) adsorption onto nanoporous titania adsorbents (NTAs) [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2010, 348(2): 591–599.
- [44] PENA M, MENG X G, KORFIATIS G P, et al. Adsorption mechanism of arsenic on nanocrystalline titanium dioxide [J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(4): 1257–1262.
- [45] LIU G J, ZHANG X R, TALLEY J W, et al. Effect of NOM on arsenic adsorption by TiO₂ in simulated As(III)-contaminated raw waters [J]. *Water Research*, 2008, 42(8/9): 2309–2319.
- [46] LI W, CAO C Y, WU L Y, et al. Superb fluoride and arsenic removal performance of highly ordered mesoporous aluminas [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 198(30): 143–150.
- [47] KURIAKOSE S, SINGH T S, PANT K K. Adsorption of As(III) from aqueous solution onto iron oxide impregnated activated alumina [J]. *Water Quality Research Journal of Canada*, 2004, 39(3): 258–266.
- [48] KUNZRU S, CHAUDHURI M. Manganese amended activated alumina for adsorption/oxidation of arsenic [J]. *Journal of Environmental Engineering-Asce*, 2005, 131(9): 1350–1353.
- [49] TOKUNAGA S, WASAY S A, PARK S W. Removal of arsenic(V) ion from aqueous solutions by lanthanum compounds [J]. *Water Science and Technology*, 1997, 35(7): 71–78.
- [50] MANDAL S, PADHI T, PATEL R K. Studies on the removal of arsenic(III) from water by a novel hybrid material [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 192(2): 899–908.
- [51] PENG X J, LUAN Z K, DING J, et al. Ceria nanoparticles supported on carbon nanotubes for the removal of arsenate from water [J]. *Material Letters*, 2005, 59(4): 399–403.

(上接第 131 页)

- [4] LI JX, WANG YJ, SHEN XH, et al. Landscape pattern analysis along an urban-rural gradient in the Shanghai metropolitan region [J]. *Acta Ecol Sin*, 2004, 24(9): 1973–1980.
- [5] WANG YL. The progress of studies on agro-landscape pattern of Liaohe Delta wetland [M]. Science and Technology Press, 2001: 73–78.
- [6] 张利权, 吴健平, 甄斌, 等. 基于 GIS 的上海市景观格局梯度分析 [J]. *植物生态学报*, 2004, 28(1): 78–85.
- [7] 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.
- [8] YE H 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] WENG Y C. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81: 341–353.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 张玲玲, 赵永华, 殷莎, 等. 基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析 [J]. *生态学报*, 2014, 34(12): 3276–3284.
- [15] 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.
- [16] 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 [J]. *地理科学*, 2013, 33(12): 1434–1441.
- [17] 臧淑英, 梁欣, 张思冲. 基于 GIS 的大庆市土地利用生态风险分析 [J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(4): 141–145.
- [18] 郭建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.