

基于 3S 技术的广州市生态安全景观格局分析

龚建周^{1,2}, 夏北成^{1,*}, 陈健飞², 林媚珍²

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275; 2. 广州大学地理科学学院, 广州 510006)

摘要:生态安全已经成为国家安全的组成部分,成为区域、国家可持续发展研究的重要内容。基于生态安全的数字评价图,从生态安全的等级配置和空间结构的角度,分别运用景观指数和半变异函数的方法探讨广州市生态安全的景观格局与动态特征。景观指数法分析结果显示,广州市生态安全现状以一般安全为主,生态安全曾在 1995 年受创,但其总的趋势良好;从景观破碎化、形态复杂性以及景观多样性来看,生态安全的时间与空间分异明显。变异函数的结果表明,生态安全的可预测性高,研究区生态安全可能存在等级结构。

关键词:生态安全;景观指数;半变异函数;3S;广州市

文章编号:1000-0933(2008)09-4323-11 中图分类号:Q146, Q149 文献标识码:A

Dynamic analysis of the Guangzhou landscape eco-security pattern based on 3S technology

GONG Jian-Zhou^{1,2}, XIA Bei-Cheng^{1,*}, CHEN Jian-Fei², LIN Mei-Zhen²

1 School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

2 School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4323 ~ 4333.

Abstract: The security of ecosystems (eco-security) has become a primary goal of national safety in China, and has become the most important content for sustainable development investigations of the Guangzhou region and the nation as a whole. Based on the eco-security digital assessment figures, landscape index and semivariable function methods were used to study the landscape patterns and dynamic characteristics of Guangzhou, as views from class distribution and space construction. The landscape index showed that the eco-security of Guangzhou is mainly in a moderate level now. Though damaged in 1995, eco-security has begun to improve. From the aspects of fragmentation-complexity of shape and multiformity for landscape-the eco-security audit showed it obviously changes in time and space. The results of the semivariable function investigation showed that eco-security had a high predictability, and there should be a different grading structure for assessing eco-security in the research district.

Key Words: eco-security; landscape index; semivariable function; 3S; Guangzhou

城市化对自然生态系统产生了深远的影响,使城市地域范围内生态系统的结构、功能发生了不可逆转的

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 40771002);中山大学 985 工程环境污染控制技术创新平台资助项目

收稿日期:2007-11-21; 修订日期:2008-04-27

作者简介:龚建周(1970~),女,土家族,湖北恩施人,博士,从事环境生态与生态环境管理研究. E-mail: gongjzh66@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zsxhbc@163.com

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40771002); Environment and pollution control project of 985 engineering of Sun Yat-Sen University

Received date: 2007-11-21; **Accepted date:** 2008-04-27

Biography: GONG Jian-Zhou, Ph. D., mainly engaged in environmental ecology and management. E-mail: gongjzh66@126.com

改变^[1,2],呈现出空间分异特点。这些生态系统的空间分异与人类、经济等活动的空间地域特点一起,决定了城市生态安全的空间格局特征以及空间异质性特点^[3~6],开展生态安全空间格局异质性的研究,了解其成因与机制,是理解人类活动与区域生态安全相互作用关系的重要途径^[7]。

景观格局分析是景观生态学研究景观空间异质性的主要方法,已被广泛应用于城市生态系统^[8]、自然生态系统^[9]以及区域^[10]的研究中,研究结果表明该方法是进行景观空间结构的有效方法。其主要方法包括一些传统的统计学方法和新的、专门解决空间问题的格局分析方法。主要为景观指数法和空间统计学方法等^[11]。这两大类主要方法已经成为量化空间格局的有效工具^[12]。其主要区别是分别针对不同的数据特点,从不同角度、不同方面揭示景观空间格局特征。如,马克明^[13]等对生态安全景观格局进行研究,拟从区域景观状态、结构稳定性探讨生态安全;王耕^[3]等对流域生态安全空间分异特征进行探讨。尽管如此,由于生态安全问题的复杂性,评价手段方法的局限性,已有的区域生态安全空间分布特征的研究仍然还显得单薄与不足。

基于作者已经完成的广州市生态安全模糊评价数字成果,本研究对研究区生态安全的空间分异特征进行景观指数法和空间统计学分析,拟从生态安全的不同等级以及生态安全指数值的空间分布等层面剖析生态安全的空间结构,更清楚地认识广州城市生态安全水平特征、空间异质性特征以及动态变化。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

广州市位于珠江三角洲的中心腹地,地处 E112°57' ~ 114°3', N22°26' ~ 23°56',行政区域调整前后都包括 10 区 2 市,考虑历史资料一致性问题,本文仍采用旧的行政分区方案。即芳村、荔湾、越秀、东山、海珠、天河、黄埔、白云、番禺、花都等 10 区和从化、增城 2 个市。总面积 7434.4 km²,地势东北高,西南低,北部和东北部是山区,中部是丘陵、盆地,南部是珠江三角洲沿海冲积平原。

广州是中国走向世界的优良海港和重要的进出口岸,同时还与全国各地密切联系,素有中国“南大门”之称。改革开放以来,广州凭其优良的地理优势和丰厚的文化底蕴,经济得以迅速发展,城市以惊人的速度扩展。同时给城市生态环境带来了巨大的压力,产生了大量的城市环境问题,严重影响了人们的生活质量,影响到区域中心城市形象。

1.2 数据来源与生态安全分布图的生成

1.2.1 数据来源

研究所用的基础数据包括:覆盖广州市域的 Landsat TM 遥感影像数据(1990. 10. 13、1995. 12. 30、2000. 10. 14、2005. 10. 22),为研究的主要图件数据,遥感卫星轨道号为 122/04385(122/44 上移 15%),以此为基础生成许多衍生数据;辅助图件数据包括广州市行政区划图(2000 年区划图);还有源于《中国统计年鉴》、《广东省统计年鉴》的人文社会经济统计数据,以及源于各行政区域的环境监测数据。

1.2.2 生态安全指数分布图的生成

用模糊评价方法对研究区生态安全进行评价,评价指标体系、模糊评价模型方法以及生态安全评价结果与指数分布图参见作者另一研究成果(快速城市化区域生态安全空间模糊综合评价)。评价最小单元为像元(30m × 30m)。为此,所有数据都转换成 grid 图层文件格式,栅格大小为 30m × 30m。

1.3 景观格局分析

广州市辖 10 区 2 市,各行政区之间面积差异较大。为避免或减小可塑性面积单元问题对景观格局分析研究影响,将城市中心所辖的 8 个行政面积合并,统称为中心城区。因此,区域分异的研究按从化、花都、增城、番禺、中心城区共 5 个区域范围展开,并与整个研究区域进行比较分析。

1.3.1 景观格局指数选取与计算

首先,计算斑块面积百分比(PLAND)指数;然后,从斑块破碎、分布状态和景观多样性共 3 个方面,选取 PD、FRAC_MN 和辛农多样性(SHDI)3 个指数,研究景观水平上生态安全综合评价各等级斑块的空间格局。

景观指数的计算公式见 fragstats3.3 的帮助文件,指数计算在 fragstats3.3 下完成。

1.3.2 生态安全的空间自相关与景观结构分析

空间结构的研究主要是运用一系列空间统计学方法,如空间自相关分析、半方差分析、趋势面分析、谱分析以及空间插值法等^[14]。本文选取前两种方法,以变权模糊评价的单值化结果分布图为基础数据,对全市及从化、增城、花都、番禺和中心城区进行以下两方面的分析:一是计算空间自相关 Moran 的 I 系数和 Geary 的 C 系数,探讨生态安全评价指数空间分布的自相关性;二是用半方差函数分析空间变异特征。

Moran I 系数和 Geary C 两系数的计算公式见文献^[11]。其中,I 系数的取值在 -1 和 1 之间:小于 0 表示负相关,等于 0 表示不相关,大于 0 表示正相关,I 系数的绝对值越大,表示相关关系越强;C 系数的取值在 0 ~2 之间:大于 1 表示负相关,等于 1 表示不相关,小于 1 为正相关,C 系数的值越靠近区间两端(0 或 2),相关关系越强。

半方差函数的基础数据是生态安全综合评价指数图,为 30m×30m 的 grid 格式数据。如果直接进行半方差分析,数据量很大。基于作者的粒度效应研究成果^[15,16],广州市景观在幅度 500m,等级结构明显;幅度 1000m 时,仍表现为自相关,因此可以选取 1000m 为分析数据的粒度,对基础数据进行重采样(用三次卷积重采样方法确定中心像元的值),生成粗化的生态安全指数分布图。将结果调入 GS+ 进行半方差分析计算。半方差函数的计算见相关文献^[17,18],以拟合模型的残差最大及散点的趋势为准,选择最优拟合模型。

2 结果与分析

2.1 生态安全的景观格局特征分析

2.2.1 生态安全等级构成及动态

以生态安全指数分布图为基础数据,在 Arc/Info 的 Grid 模块中,用 slice 命令对广州市生态安全指数分布图进行分级,等级划分为 I:0~30,II:30~50,III:50~70,IV:70~90,V:90~100。其中,等级划分按照人们对安全性认知的习惯,并参考相关研究成果^[19]而设置;依等级由低到高(I→V)的顺序,依次分别表示生态安全状况为差、较差、一般、良、优。统计各等级生态安全的面积,绘制成如图 1 的等级构成图。

(1)广州市

从图 1a 可以看出,广州城市生态环境以一般安全等级为主,其比例在 36.89%~56.4%;其次,等级良也占有相当的比例,在 22.9%~39.2%之间;没有出现等级差的评价单元。从时间动态看,1995 年的安全等级 III 的区域面积百分比有较大幅度的下降,下降的比例值为 6.45%;同期,等级良的区域面积减小 7.04%,这两个等级都转化为较差的等级 II,使等级 II 的面积增加 13.4%。这种状况与作者已经完成的植被覆盖度、土地利用变化的研究所揭示的生态环境特征与动态相吻合。到 2000 年,属一般安全等级的面积比例上升。然而,等级良的比例仍然减小,表明人们已有意识地保护城市生态环境,但城市生态安全状况仍然存在诸多问题,城市生态环境质量亟待进一步改善。最后,至 2005 年,一般安全等级的面积比例减少了 16.53%,几乎都转变到高等级的良,增幅为 16.31%。同时,扭转了前期最高等级优消失的恶化态势,出现了 0.86%的优等安全等级区域。表明广州城市建设转向理性发展阶段,城市生态安全向良好趋势发展。

(2)各行政区

从图 1b~f 可以看出,不同行政区域的生态安全各等级的比例构成各异,反映出各区域内经济速度、进程以及生态环境质量的差异,由此形成的生态安全水平及动态的时间与空间分异特征。

从化市生态安全的等级构成及变化趋势比较类似于全广州市域的变化(图 1b),说明从化市的生态环境状况对全市具有举足轻重的意义。仍然以一般、良两个等级为主。除 1995 年外,属于等级良的比例持续升高,并且到 2005 年,该等级成为从化市域生态安全的绝对优势等级,其比例为 68.04%,表明境内生态安全状况良好。

从图 1c 可以看出,增城市的生态安全比较特殊,尤其是其动态变化过程:在 1990~2000 年间,等级良与优的比例持续减小,甚至到 2000 年时,等级优消失,这些较高安全等级的比例都转变为一般和较差等级;之

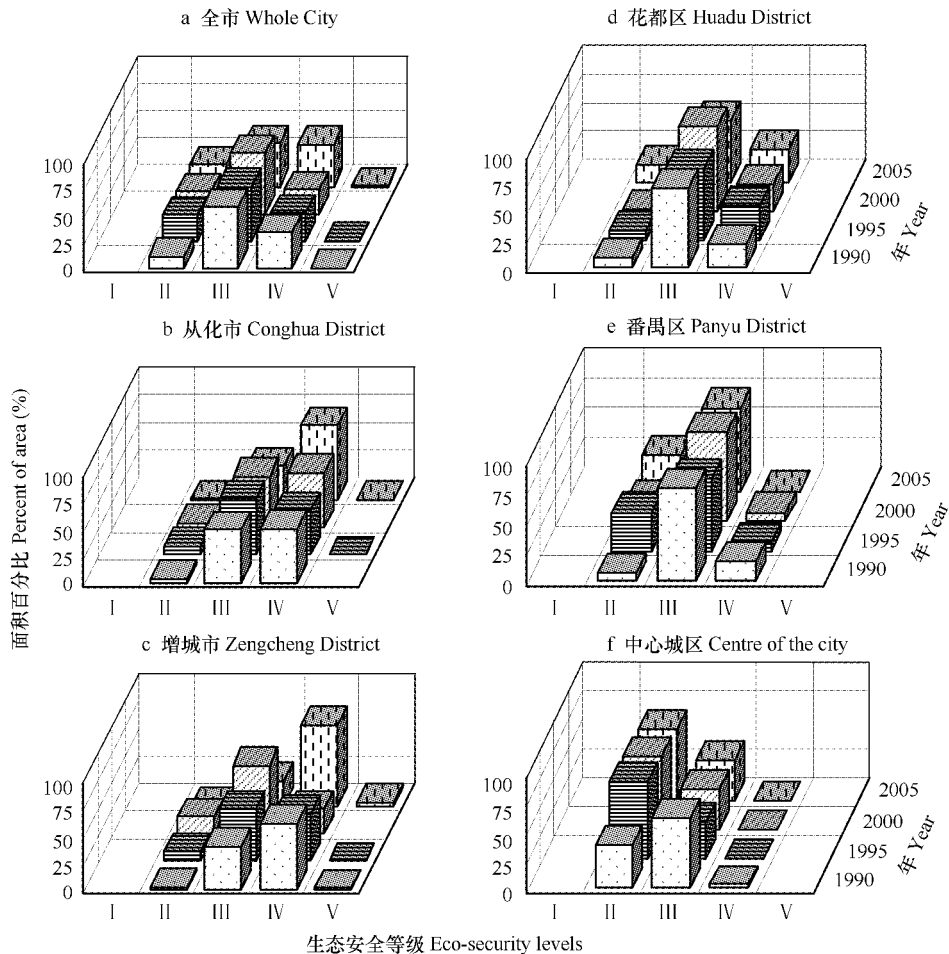


图1 1990~2005年间生态安全水平各等级的百分比构成

Fig. 1 Ratio structure of each eco-security level in different areas, 1990 ~ 2005

后,这种恶化的趋势得以扭转,到2005年时,出现了等级优的区域,增幅最大的是等级良,而一般与较差等级的比例有大的降幅,降幅分别为15.49%、3.13%。反映出增城经济发展阶段的特殊性以及由此对生态安全破坏的独特性。

花都区生态安全等级水平的构成比例较稳定,以一般安全的比例占绝对优势,在2005年,该等级比例为54.9%,其余年份内中等安全的比例都高于60%(图1d)。另外,从图还可以看出,到2005年,较差安全的等级增加14.54%的比例值,表明局部生态安全出现恶化的趋势,值得引起重视。

相比而言,番禺区的生态安全状况较差。虽然属等级Ⅲ的比例仍然占优势,但同时,较差安全等级Ⅱ也占有相当的份量。另外,在1990~2005年间,等级Ⅲ和等级Ⅳ的比例出现两高两低的波动,即1990和2000年值较高,1995和2005年的值低。且减少的部分都转化为更低的安全等级Ⅱ。表明同期番禺区生态环境遭受破坏较大,并且至研究末期,恶化趋势仍未有好转的迹象。

中心城区与番禺区的生态安全状况十分相似(图1f),但是,从生态安全各等级的比例构成来看,中心城区的生态安全更差。表现为以等级Ⅱ为其主要的安全等级,除1990年仅为36.72%外,其余都在63.5%~67.29%之间变化。另外,从动态变化来看,1990~1995年为中心城区生态安全重创时段,之后,各安全等级之间的比例构成动态变化不大,表明其生态安全等级构成稳定,未向好的方向发展。与城市景观格局紧密联系的,中心城区是人口、商业高度集中的区域,改善其城市生态环境极其重要。

综上所述,城市生态安全不同等级的百分比构成,展示出研究区域内部的生态安全水平与动态变化规律,

了解城市生态安全状态与空间区位差异,映射出人类活动对生态环境安全水平影响的印迹。

2.1.2 生态安全的景观格局特征

3 个景观指数的动态特征如图 2 至图 4。从图可以看出,生态安全的空间格局呈现出区域差异,具有各自不同的动态变化规律。

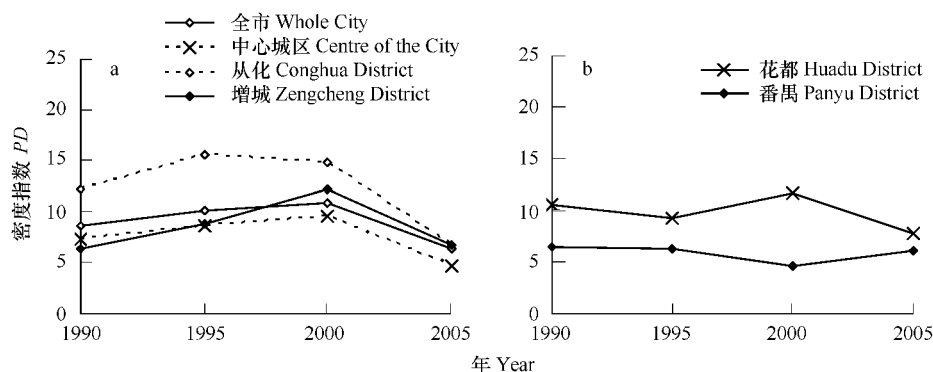


图 2 生态安全景观格局的 PD 动态变化曲线(1990 ~ 2005 年)

Fig. 2 Dynamics of PD index of eco-security pattern at landscape levels, 1990 – 2005

(1) 密度指数 PD

如图 2,根据 PD 曲线的形状,可将行政区分成三类:一是中心城区、增城、从化和全市四个区域,PD 曲线呈“ $\cap$ ”型变化。其中,从化的 PD 曲线在 1995 年出现一个峰,然后持续下降;其余 3 条曲线都在 2000 年出现峰值,说明 4 个区域都曾出现生态安全的景观破碎化程度加剧的时段,而从化境内破碎化时期相对较短。

另一类是番禺区,表现为在 1995 年以前,曲线变化平稳,到 2000 年时曲线下跌,2000 年以后上升。说明番禺生态安全受破坏主要自 2000 年开始。正好与番禺区经济发展阶段相吻合,即 2000 年以后,广州城市化南移以及大力开发南沙政策的实施,使境内生态环境遭到较大的破坏,代表生态安全不同等级的斑块更加破碎化;番禺境内几条高速公路的修建运行也是引起生态安全水平下降并破碎化的重要因素。另外,从图 2 曲线反映出的趋势看,至研究末期,只有番禺区 PD 呈增大的态势,生态安全各等级斑块更加破碎化,表明其生态安全尤其是这种破碎化趋势值得高度重视。

最后,花都区正好与番禺区相对,PD 曲线呈降升降的起伏变化,说明境内人类活动对城市生态环境干扰呈现出分时间段,并且这种阶段性正好与番禺相逆的特征。至研究期末,生态安全没有出现更加破碎化的分布格局。

据图 2 指数的绝对值看,从化市区 PD 值最大,番禺较小,各等级斑块分别是广州市生态安全破碎化程度的极端状态。究其原因,番禺城内以低的安全等级斑块占绝对优势,而从化市则因为一些散布的高安全等级的斑块而使生态安全等级景观趋于破碎化。

(2) FRAC_MN

图 3 显示,分维数的绝对值变化幅度不大,这是由其计算公式以及城市生态安全的景观格局特征所决定的。但是,曲线仍然错综复杂,呈现出区域及时间动态分异。全市、中心城区、增城和番禺的指数曲线变化类似,曲线在一个时段内先降低,然后上扬。其中,中心城区以 1995 年为曲线变化趋势的拐点,先降后升,其余 3 个区域则以 2000 年为拐点。因此,从景观斑块形状看,四个区域的生态安全景观变化出现了“时差”现象。花都的分维数曲线单调上升,表明其生态安全景观形状复杂性单调增加;从化则以 1995 年为曲线拐点,先升后单调下降,表明其生态安全景观形状呈现出复杂至简单的交替变化。

(3) SHDI

SHDI 动态曲线如图 4 所示,可以看出,中心城区的 SHDI 曲线比较特殊,呈“ $\cup$ ”的弧型曲线变化,弧度变化不大。由前面的分析知,1990 ~ 1995 年间是广州市中心城区城市化过程较快的时段,城市化过程使其景观

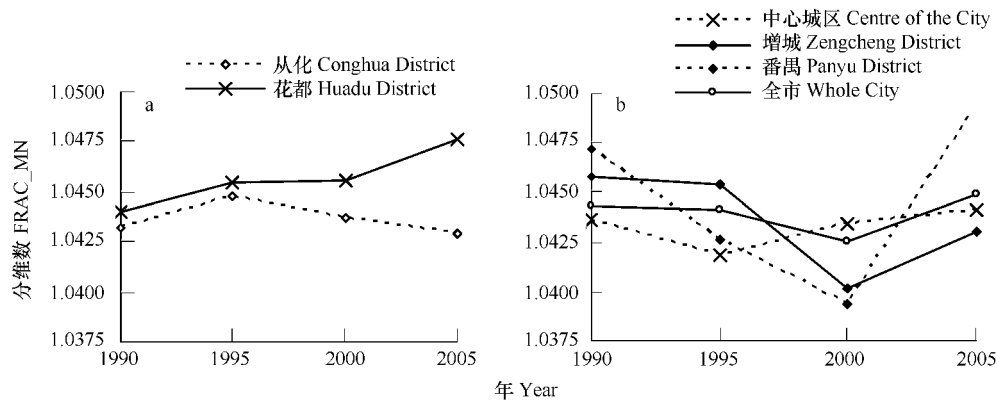


图3 生态安全景观格局的 FRAC_MN 动态变化曲线(1990~2005 年)

Fig. 3 Dynamics of FRAC_MN index of eco-security pattern at landscape levels, 1990–2005

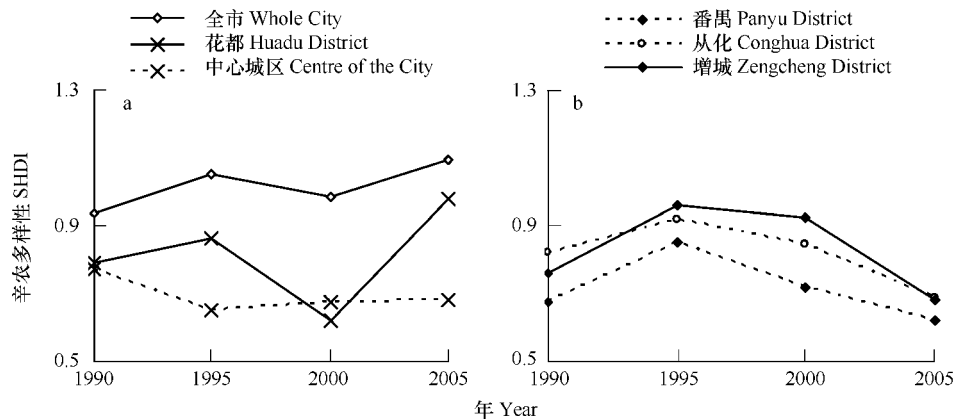


图4 生态安全景观格局的 SHDI 动态变化曲线(1990~2005 年)

Fig. 4 Dynamics of SHDI index of eco-security pattern at landscape levels, 1990–2005

类型趋于单一,城镇建设用地面积比例增大,同时较大区域的绿地被毁,因而其生态安全景观多样性指数减小。之后的年份里,生态安全的这种逆转趋势得以缓解。

花都与全广州市的情况相似,曲线呈升降升波浪变化,总的研究时段内其多样性指数值增大。从化、增城和番禺区的多样性指数曲线变化相似,曲线呈“ $\cap$ ”型变化,曲线峰值出现在1995年。

综上所述,不同的景观指数可以从不同角度考察生态安全景观格局的特征,据此将景观区域分成不同的组别类型。为量化区域之间生态安全水平的空间分布格局特征的差异,以及比较3个指数描述生态安全水平空间分布的敏感性,分别计算各指数的标准偏差和变异系数,结果如表1所示。

表1 不同区域内景观指数的变异特征值

Table 1 Variable value of landscape indices in different areas

区域 Area	标准偏差 Standard deviation			变异系数 Variation Coefficient			平均 Average
	PD	FRAC_MN	SHDI	PD	FRAC_MN	SHDI	
全市 Whole City	1.994	0.001	0.071	0.2222	0.0009	0.0693	0.09748
从化 Conghua district	3.968	0.001	0.096	0.3199	0.0008	0.1173	0.14601
增城 Zengcheng district	2.653	0.003	0.131	0.3113	0.0025	0.1582	0.15732
花都 Huadu district	1.708	0.001	0.151	0.1740	0.0014	0.1856	0.12033
番禺 Panyu district	0.913	0.005	0.099	0.1545	0.0043	0.1385	0.09912
中心城区 Centre of the City	2.066	0.001	0.054	0.2745	0.0009	0.0769	0.11742
平均 Average	2.217	0.002	0.100	0.2427	0.0018	0.1243	0.12295

横栏平均项为对应参数的平均值,纵栏平均为对应区域3个指数变异系数的平均 Averages in line indicate the average of some index, while that in column showing the average of three variation coefficients of an area

从表 1 中指数平均值看(表中最后一行),标准偏差和变异系数都显示,PD 指数的空间变异最大,其次是 SHDI,最小的是 FRAC_MN。表明描述景观特征时,不同的景观指数具有不同的敏感程度,其中,PD 指数最为敏感,而敏感性最差的是 FRAC_MN。从 3 个指数的变异系数平均值(表 1 的最后一列),生态安全景观特征的区域差异也是明显的,平均值最大的是增城区,3 个指数的变异系数平均值为 0.15732;其次是从化区和花都,平均值分别为 0.14601 和 0.12033。最小平均值的是全市和番禺,其值分别为 0.09748、0.09912。

2.2 生态安全的空间结构特征分析

区域生态安全是特定地理位置下自然、社会等现象与过程综合作用的结果,进而形成不同区位的生态安全空间结构特征。通过研究这种空间结构,将有助于对生态安全水平及空间结构进行解释,找出生态安全水平影响因子,从而提高对区域生态安全状态的认识,使目前生态安全较薄弱的定量研究更加深入。

2.2.1 生态安全的空间自相关性

基于变权—模糊评价指数分布图,进行区域生态安全指数的空间自相关和结构特征分析。其中,空间自相关分析通过计算自相关系数,系数计算结果如表 2。从表中可以看出,Moran 的 I 系数都大于 0 并趋近 1,Geary 的 C 系数在 0~0.1104 之间,趋近 0。两种系数的结果表明,在像元水下上,研究区生态安全存在极强的正相关关系,或者说几乎完全正相关。

表 2 不同区域内生态安全的空间自相关系数
Table 2 Spatial autocorrelation coefficients of different areas

区域 Area	Moran I				Geary C			
	1990	1995	2000	2005	1990	1995	2000	2005
全市 Whole City	0.9665	0.9563	0.9516	0.9828	0.0324	0.0425	0.0472	0.0163
从化 Conghua district	0.9471	0.9122	0.9120	0.9470	0.0510	0.0856	0.0861	0.0509
增城 Zengcheng district	0.9540	0.9457	0.9421	0.9678	0.0441	0.0526	0.0562	0.0303
花都 Huadu district	0.9318	0.9372	0.8830	0.9397	0.0657	0.0604	0.1149	0.0583
番禺 Panyu district	0.9361	0.9410	0.9343	0.9324	0.0622	0.0577	0.0642	0.0663
中心城区 Centre of the city	0.9520	0.9237	0.9230	0.9581	0.0467	0.0751	0.0758	0.0404

2.2.2 生态安全的空间结构特征

计算生态安全指数的变异函数,拟合不同的变异函数模型,以 RSS 最小、大的相关系数为选择标准,选取相对最佳的拟合函数拟合成变异函数曲线。共 24 个函数以及 24 条曲线,分析这些结果,发现曲线图、模型类型与参数的差异主要表现在不同区域之间。选取各区域的一条典型曲线,绘制成图 5,主要用以研究生态安全空间结构特征的空间分布差异。

(1) 总体特征

从图 5 可以看出,变异函数拟合较好,只有花都区的相关系数较小(0.622),其余区域内的相关系数都大于 0.8。而结构方差与系统总方差之比都大于 50%,表明广州市以及各区的生态安全水平在区域内具有很好的空间结构性,生态安全水平的空间预测性较高。

(2) 区域分异

变异函数揭示出生态安全空间结构的区域差异明显。从曲线变化以及拟合模型来看,①番禺区、增城市两个区域的生态安全空间异质性变化独特,变异函数分别拟合成较理想的高斯、线性模型,决定系数(R^2)分别为 0.886、0.965。②中心城区、从化市和花都的曲线相似:随距离增加,曲线开始迅速增加,然后再缓慢增加;最佳拟合模型为指数模型, R^2 分别为 0.981、0.856 和 0.622,揭示从化市以及中心城区生态安全水平的空间变异符合泊松分布,即由许多安全等级不同、面积不等的缀块组成。③图 5a 显示,从全市范围来看,生态安全水平的变异函数曲线呈非规则地变化,直到达到基台值,最佳拟合模型为球体模型。

其次,块金值(C_0)通常表示由实验误差和小于实验取样尺度引起的变异,结构方差(C)表示系统内部结构引起的变异,二者之和为系统内总的变异($C_0 + C$),又称基台值。块金值与总的变异之比表示随机因素引

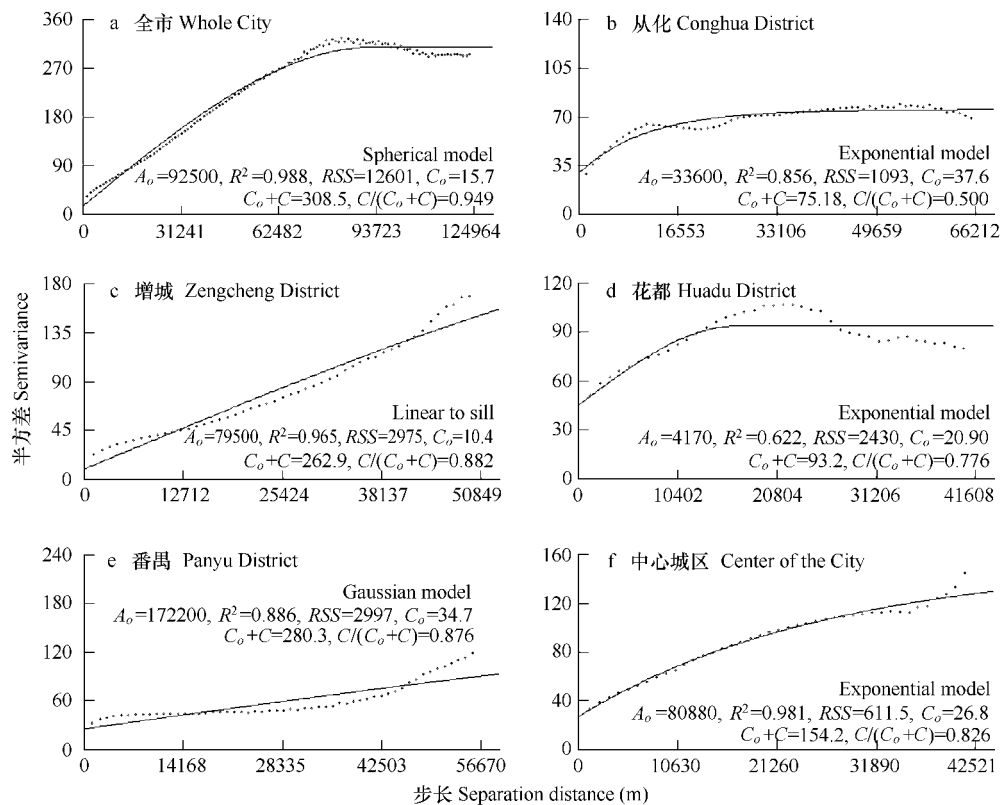


图5 生态安全水平的半变异函数及其理论模型

Fig. 5 Semivariogram and theoretical models of eco-security levels

起的变异所占的比例($C_0/(C_0+C)$),结构方差与总变异之比表示系统结构因素引起的变异所占的比例($C/(C_0+C)$)。一般地, $C/(C_0+C)$ 大于0.75表明系统空间结构自相关性强,该值在0.25~0.75则为中等空间自相关性,小于0.25为自相关性很弱^[20]。据此,从结构方差与基台值的比例大小来看,①全市以及增城、番禺区、中心城区、花都十分相似, $C/(C_0+C)$ 的值较大,分别为0.949、0.882、0.876、0.826、0.776,表明区域内引起生态安全空间分布变异性的随机因素所占比例较小,也就是生态安全空间变异程度的可预测性较高。②花都区则不然,其 $C/(C_0+C)=0.500$,表明境内生态安全空间变异性受随机因素影响比例较大。

最后,从自相关的变程值范围为4100~172200m,该距离阈值(A_0)的区位差异很大。其中,番禺和花都区的变异函数及变程独特:①番禺境内生态安全的 A_0 值最大,表现出明显的漂移现象。漂移现象是空间分布具有明显的某种趋势的表现^[21]。从生态安全模糊评价结果图知,番禺区内生态安全等级水平具有北部靠近中心城区低,向南靠海域的方向逐渐升高的趋势。②随距离增加,花都区生态安全水平的变异函数不是趋于平稳,在约大于20804m,变异函数值逐渐降低,表明在该距离大小左右,境内生态安全水平的相关性最差,而在大于这个距离范围时,其相关性反而加强。说明该距离的范围内存在许多生态安全水平相近的评价单元或聚集斑块,这些等值评价单元或斑块之间的平均距离正好对应于这种较大的距离。

2.2.3 生态安全空间结构的动态变化

生态安全空间结构也表现出时间的分异,这种动态分异及其幅度大小因区域各异。分析比较形成的24条变异函数曲线以及相应的模型得知,番禺、花都两区的生态安全空间结构较特殊。除对广州市生态安全空间结构的时间分异分析,还对番禺进行典型区域分析。

(1)全市生态安全空间结构的动态变化如图6。从曲线与模型、块金效应比例以及自相关阈值几个方面分别述之,其动态特点如下:

变异函数曲线拟合为较理想的球状模型,相关系数都大于 0.9,在由远及近的研究时间里,拟合曲线的决定系数分别为 0.876、0.928、0.974 和 0.988。但是,头几个点的评价值与理论模型值相差较远,表明可能在较小范围内生态安全的分布情况不同。另外,这种偏差的方向因时间不同,1990~2000 年,理论模型值高于评价值,而 2005 年相反,表明不同时相里影响小范围生态安全分布格局的因素以及影响程度可能存在区别。

从曲线来看,变异函数都表现为随距离增大达到一个最大值,然后并不是稳定在一个值,而是再逐渐下滑。但是,在 1990 年,曲线下滑的幅度最大,其次是 1995 和 2000 年,最小的是 2005 年。

从块金效应比例 $C_0/(C_0+C)$ 来看,研究的前 3a 为一类,该值在 0.248~0.287 之间,2005 年时该值仅仅 0.051,表明 2005 年研究区内生态安全水平的空间变异由随机因素引起的比例大大减少,而影响城市生态安全的随机因素主要是人类活动,因此表明其城市化过程对城市生态安全的影响已开始减缓。

在研究的 4 个年份中,自相关阈值 A_0 之间的差异不大。但是,仍然呈现先增后减的变化,曲线变化的拐点是 2000 年。表明城市系统内外因素对生态安全的影响,也反映在生态安全空间自相关的距离的变化上。

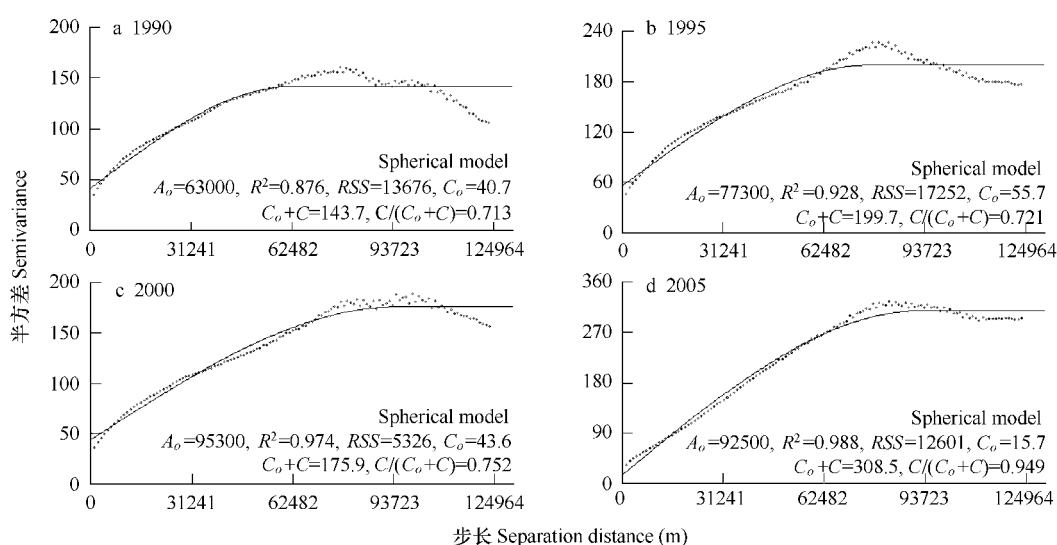


图 6 广州市生态安全水平的半变异函数及其理论模型(1990~2005 年)

Fig. 6 Semivariogram and theoretical model of Eco-security levels in Guangzhou city, 1990–2005

(2) 番禺区 如图 7 所示,番禺区生态安全水平符合高斯模型,相关系数都大于 0.9。但是,在几个不同的距离范围,理论模型与实际计算值偏离明显,表明不同尺度影响番禺生态安全的各种生态过程所起的作用及程度不同。由此可能使其生态安全具有等级结构特征。

从结构方差与基台值的比值 $C/(C_0+C)$ 看,番禺区生态安全空间异质性主要由结构方差起作用。但是,从动态变化来看,在 1990~2000 年间,该值单调增加,之后,这个值减小。表明自 2000 年始,番禺区域的生态安全空间异质性受人类活动的随机影响程度增加。这种随机影响主要是同期区内的人类活动加强,尤其是高速公路建设以及广州市政府制定的大力开发南沙政策的实施等造成的影响。

随研究时段的推移,自相关阈值(A_0)逐渐先减小再增大,但是自 1990 年起, A_0 的值远远超出番禺区东西或南北的距离,表现出明显的漂移现象。从生态安全评价指数空间分布可知,区内生态安全结构呈现出自北向南海域安全等级排序依次为较差、一般到良的空间分布格局。表现出靠近城市中心生态安全等级较低,远离城市中心时,生态安全等级逐渐升高的分布规律。说明变异函数自相关阈值的漂移现象暗示着研究变量在空间结构上呈现出的某种趋势,这个结论与相关文献资料相同^[21]。其中,生态安全等级良的斑块破碎化。但是,自北向南,这种等级的斑块逐渐增多,并且斑块面积也略增大。

可见,变异函数用于生态安全空间结构的研究是对传统统计学方法的补充。该方法研究生态安全等地理现象,从另一个方面揭示出地理现象的空间特征。如根据变异函数曲线和模型的差异,可以将研究区生态安

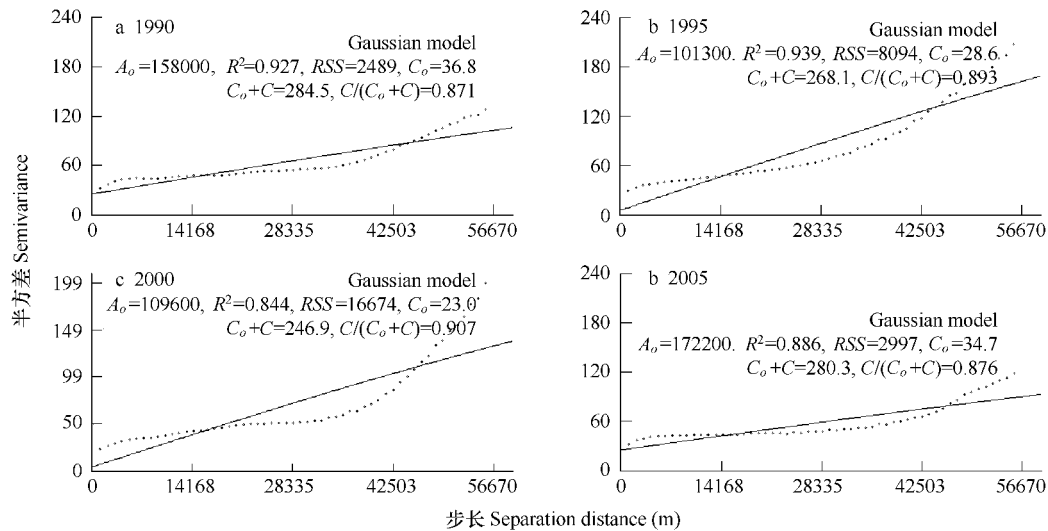


图7 番禺区生态安全水平的半变异函数及其理论模型(1990~2005年)

Fig. 7 Semivariogram and its theoretical models of Eco-security levels in Panyu district, 1990–2005

全的空间结构分成四类:增城和整个广州市,中心城区和从化,花都以及番禺。与前面小节根据景观指数的分类明显相异。表明地理现象的空间特征是多维的,运用不同的方法加以分析,分别只是对其一个方面特征的描述,而几种方法结合运用,可以使对空间结构的认识更加全面,使对研究对象的空间特征分析多维化。

3 结论与讨论

基于作者已经完成的生态安全数字评价结果,进行生态安全指数分布的空间统计分析,以及生态安全等级结构的景观指数分析,探讨广州市生态安全空间分布与配置关系,及其动态变化规律,得到以下主要结论:

广州市生态安全为一般安全水平,表现为以一般和良为其主要安全等级类型,二者之和为 59.79% ~ 95.6%。没有出现差的安全等级。从时间动态来看,生态安全曾一度受损,主要在 1995 年前后。值得释怀的是,到研究的末期,生态安全出现良好态势。

生态安全作为特定区域的地理现象,是区域自然、地理与人类活动综合作用的表现,具有明显的区域的烙印。首先表现为不同行政区域范围内,生态安全等级的比例与空间配置都不尽相同;而各区域内,这种等级构成还呈现不同的变化特点与时段特性,如 1995 年为中心城区生态安全状况较差的年份,但是番禺区生态安全最差的年份为 2000 年。

生态安全等级的景观指数分析显示,生态安全等级景观的破碎态、形状和多样性都呈现明显的时间动态与空间分异。显示出各区域内人类活动对生态安全的影响程度与时间阶段性。根据这种差异还可以从不同方面将区域分成不同的类组别。比如,从景观破碎化程度看,全市、中心城区、从化和增城为一类,花都和番禺再各成一类。尽管如此,增城市域内,生态安全等级景观形状、破碎度和多样性的平均空间变异仍然是最大的。

半变异函数从另一个方面揭示出空间地理现象的空间结构或配置特征。本研究结果显示,广州市以及各区域内生态安全水平都具有很好的空间结构性,生态安全的空间预测性较高,而其区域差异也是明显的。最为突出的特点是番禺区的变异函数曲线都显示,在几个不同的距离段内,理论模型与实际计算值偏离程度不一,表明不同尺度范围内影响番禺区生态安全的各种生态安全过程与作用程度都可能不同。由此可能暗示出生态安全存在等级结构特征。进一步进行生态安全的尺度与等级结构研究无疑是有意义的。另外,番禺区内变异函数自相关阈值呈现出漂移现象,全市范围变异函数曲线随距离增加而下滑,这些都可能进一步指示着研究区内生态安全等级结构存在的可能性。

References:

- [1] Matthew L, Wu J G. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology*, 2002, 17: 327—339.
- [2] Philippe C, Jukka J, Robbert S. Using hierarchical levels for urban ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 2006, 21(12): 660—661.
- [3] Wang G, Wu W. Assessment on ecological security spatial differences of west areas of Liaohe River based on GIS. *Environmental Science*, 2005, 26(5): 28—33.
- [4] Wu J G, Jelinski D E, Luck M, *et al.* Multiscale analysis of landscape heterogeneity: scale variance and pattern metrics. *Geographic Information Science*, 2000, 6(1): 6—19.
- [5] Zhang L Q, Wu J P, Zhen Y, *et al.* Retracted: A Gis-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area, China. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69(1): 1—16.
- [6] Christopher H, Young and Peter J, Jarvis. Measuring urban habitat fragmentation: an example from the black Country, UK. *Landscape Ecology*, 2001, 16: 643—658.
- [7] André B L, Jack A. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 59(2): 65—93.
- [8] Cai C J, Zhou X Z, Chen F, *et al.* The landscape patterns of the green corridors in Wuhan City, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 2996—3004.
- [9] Hu H S, Wei M C, Tang J G, *et al.* The landscape pattern changes and simulation in Lushan Mountain national Park. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4696—4706.
- [10] Zhen L, Xie G D, Yan G L, *et al.* Characters of landscape patterns and correlation in Jinghe watershed. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3343—3353.
- [11] Wu J G. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. Beijing: Higher Education Press, 2000. 11, 66—97.
- [12] David J B, Weaver K, Schnekenburger F, *et al.* Sensitivity of landscape pattern indices to input data characteristics on real landscapes: implications for their use in natural disturbance emulation. *Landscape Ecology*, 2004, 19: 255—271.
- [13] Ma K M, Fu B J, Li X Y, *et al.* The regional pattern for ecological security(RPES) the concept and theoretical basis. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 761—768.
- [14] Wang J, Fu B J, Qiu Y, *et al.* Spatiotemporal variability of soil moisture in small catchment on loess plateau — semivariograms. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(4): 428—438.
- [15] Gong J Z, Xia B C, Li N. Effects of spatial grain size on landscape pattern of land-cover types in the rapidly urbanized region. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2192—2206.
- [16] Gong J Z, Xia B C, Li N. Characteristics of scale and hierachical structure of landscape system under heterogeneities of city land cover patterns. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(8): 873—881.
- [17] Bai J H, Ou Y H, Deng W, *et al.* Spatial distribution pattern of nitrogen in marsh soils in Xianghai wetlands. *Geographical Research*, 2004, 23(5): 614—622.
- [18] Du R Q. *Biostatistics*. Beijing: Higher Education Press, 1985. 15—16.
- [19] Xie H L, Zhang X Z. Research on measuring and countermeasure of ecological security in suburb — A case study on Haidian district, Beijing City. *China Population. Resources and Environment*, 2004, 14(3): 23—26.
- [20] Guo X D, Fu B J, Ma K M, *et al.* Spatial variability of soil nutrients based on geostatistics combined with GIS A case study in Zunghua City of Hebei Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 557—563.
- [21] Zhang C S, Zhang S, He J B. Spatial distribution characteristics of heavy metals in the sediments of Changjiang River System — geostatistics method. *Acta Geographica Sinica*, 1997, 52(2): 184—191.

参考文献:

- [3] 王耕, 吴伟. 基于 GIS 的西辽流域生态安全空间分异特征. *环境科学*, 2005, 26(5): 28—33.
- [8] 蔡婵静, 周志翔, 陈芳, 等. 武汉市绿色廊道景观格局. *生态学报*, 2006, 26(9): 2996—3004.
- [9] 胡海胜, 魏美才, 唐继刚, 等. 庐山风景名胜景区景观格局动态及其模拟. *生态学报*, 2007, 27(11): 4696—4706.
- [10] 甄霖, 谢高地, 杨丽, 等. 泾河流域分县景观格局特征及相关性. *生态学报*, 2005, 25(12): 3343—3353.
- [11] 邬建国. *景观生态学——格局、过程、尺度与等级*. 北京: 高等教育出版社, 2000. 11, 96—97.
- [13] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 等. 区域生态安全格局: 概念与理论基础. *生态学报*, 2004, 24(4): 761—768.
- [14] 王军, 傅伯杰, 邱扬. 黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征——半变异函数. *地理学报*, 2000, 55(5): 429—439.
- [15] 龚建周, 夏北成, 李楠. 快速城市化地区土地覆盖景观特征的粒度效应. *生态学报*, 2006, 26(7): 2192—2206.
- [16] 龚建周, 夏北成, 李楠. 广州市城区土地覆盖格局的尺度与等级特征分析. *地理学报*, 2006, 61(8): 873—881.
- [17] 白军红, 欧阳华, 邓伟. 向海沼泽湿地土壤氮素的空间分布格局. *地理研究*, 2004, 23(5): 614—622.
- [18] 杜荣骞. *生物统计学*. 北京: 高等教育出版社, 1985. 15—16.
- [19] 谢花林, 张新时. 城郊区生态安全水平的量度及其对策研究——以北京市海淀区为例. *中国人口. 资源与环境*, 2004, 14(3): 23—26.
- [20] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 557—563.
- [21] 张朝生, 章申, 何建邦. 长江水系沉积物重金属含量空间分布特征研究——地统计学方法. *地理学报*, 1997, 52(2): 184—191.