

金坛市土地生态质量的城乡梯度规律研究

昌 亭, 周生路, 戴 靓, 陈 龙

(南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210023)

摘 要:金坛市作为长三角经济发达地区的典型地区,快速城镇化背景下其土地生态状况具有代表性。从基础、胁迫、结构、效益 4 个角度构建土地生态指数指标体系,以行政村为评价单元计算 4 个准则层分值和土地生态指数综合分值,在此基础上假设金坛市土地生态质量分布具有城乡梯度的规律。通过热点和梯度分析验证表明:(1) 土地生态指数热点空间分异特征符合城乡梯度规律,城镇化是导致该规律的重要原因;(2) 土地生态指数沿着金坛市“城镇—城乡结合部—近郊—远郊”环形梯度分布,总体上土地生态指数不断升高,沿城镇中心向外每增加 2 400 m,土地生态指数提高 1.6%;(3) 城镇中心土地生态质量状况处于最低值,且城镇所在地土地生态质量比正常状态差,更精细地表明城镇化对土地生态质量的不良影响;区域土地生态结构是影响金坛市土地生态综合指数波动的最大因素。(4) 该文对土地生态指数空间分异规律作了深入探究,对土地生态指数空间分异的驱动力分析和主控因子识别将在进一步研究中进行探索。该研究可引导政府在城镇化进程中实施改善土地生态质量的政策。

关键词:土地生态指数; 热点空间分异; 环形梯度; 条带梯度; 金坛市

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)03-0130-06

Study on Urban and Rural Gradient Rule of Land Ecological Quality in Jintan City

CHANG Ting, ZHOU Sheng-lu, DAI Liang, CHEN Long

(School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: As a typical city with developed economy in the Yangtze River Delta region, land ecological problem of Jintan City is representative. In order to verify the influence of urbanization on the land ecological quality, this paper builds the indicator system of land ecological index from the perspectives of foundation, stress, structure and efficiency. The scores of four criteria layers and land ecological index were calculated in the unit of administrative village. Based on this, the distribution of land ecological quality in Jintan City is assumed to show urban and rural gradient rule, and this assumption is validated by using hotspots, circle gradient analysis and transect gradient analysis. The results are as followings: (1) the hotspot spatial distributive characteristics of land ecological index meets the urban and rural gradient rule, and this phenomenon is mainly caused by urbanization; (2) circle gradient analysis indicates that land ecological index raises along with ‘urban-urban fringe-inner suburbs-outer suburbs’ circle gradient in Jintan City, land ecological index increases by every 1.6% when there is a distance of 2 400 m away from town center, though criteria layer gradient is insignificant, but its scores showed an increasing trend from the inside; (3) the results show that ecological quality status of the town center is in the lowest land values, and land ecological quality of urban area is worse than the normal, it shows that urbanization had an adverse effects on the land ecological quality at a finer level, land ecological structure in Jintan City is the most significant factor to influence the composite index; (4) in this paper, land ecological index spatial differentiation is explored deeply. Moreover, the driving force for the spatial variation of land ecological indices and identification of the main factors will be explored in the further studies. This study could lead the government to implement policy that may improve the eco-

收稿日期:2013-09-24

修回日期:2013-10-16

资助项目:长三角经济发达地区土地生态状况调查与评估(DCPJ121504-01)

作者简介:昌亭(1990—),女(苗族),重庆人,硕士研究生,主要研究方向为土地利用与区域经济发展。E-mail:changtingnju@163.com

通信作者:周生路(1968—),男,江西大余人,教授,博士生导师,主要从事土地资源与环境研究工作。E-mail:zhoussl@nju.edu.cn

logical quality in the process of urbanization.

Key words:land ecological index; hotspot spatial differentiation; transect gradient; circle gradient; Jintan City

近年来,我国在工业化、城镇化快速发展的背景下,土地利用方式更加多样化,土地利用更加强调集约节约利用,区域土地生态问题凸显并逐渐成为研究的热点^[1-2]。目前国内外关于土地生态系统做了较多的研究,主要集中在土壤污染^[3]、土地利用景观格局^[4]、土地生态评价(承载力评价^[5]、安全评价^[6-7]、风险评价^[8]、适宜性评价^[9])、土地生态预警^[10]等方面。城市化是驱动土地生态系统变化的重要因素,为了探究城镇化是否会影响土地生态的质量,本文提出区域土地生态质量分布具有城乡梯度规律这一假说,分析土地生态质量的空間分布特征,从而探究这一假说是否成立。

本文基于国土资源部科研专项经费项目“长三角经济发达地区土地生态状况调查与评估”项目提出的土地生态指数指标体系,计算得到金坛市行政村尺度的各准则层和综合层分值,首先通过土地生态指数热点分析验证城镇化对土地生态质量影响的规律;其次通过环形梯度分析计算土地生态指数距离衰减量;再通过条带梯度分析,对从城镇中心区辐射出的各个方向进行重采样,分析土地生态各准则层与综合层的分值状况,进一步探讨城镇化对土地生态的影响机理。

1 研究区概况

研究区金坛市(31°33′42″—31°53′22″N,119°17′45″—

119°44′59″E)位于江苏省南部,是南京、上海和杭州三角地带的中心,属长三角经济发达地区,金坛市是我国农村综合实力百强市(县)。金坛全市总面积 975.49 km²,金坛东西相距约 50 km,南北相距约 40 km。金坛市市级行政区域界线主要涉及 7 个镇和 1 个开发区的区域单位,共 165 个行政村单元。2011 年末,金坛市行政区域内人口 54.9 万人,近十年来人口年平均增长率为 0.17%,城镇化率达到 49.60%,城镇和农村居民人均收入逐年上涨。金坛市经济快速发展过程中,土地生态问题凸显。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

构建土地生态指数的指标体系,从基础、胁迫、结构与效益角度构建 4 个准则层和 15 个指标(表 1),权重确定方法选择主观赋权较为典型的层次分析法和客观赋权较为典型的熵权法综合得到各元指标层和准则层权重值^[11-12]。研究时段静态指标基期年选取 2011 年,动态指标基期年选取 2009—2011 年。各指标计算公式及解释、数据来源见表 1。根据土地生态指数指标体系,计算得到金坛市行政村单元各准则层和土地生态指数的值,进而在此基础上探讨金坛市土地生态质量分布的城乡梯度规律。

表 1 土地生态指数指标体系及数据来源

| 准则层 | 准则层权重 | 元指标层 | 指标权重 | 指标计算 | 数据来源 |
|------|-------|----------|-------|---|------------------------------------|
| 基础因子 | 0.29 | 地形位指数 | 0.092 | $T=\lg[(\frac{E}{\bar{E}}+1)\times(\frac{S}{\bar{S}}+1)]$ | 国际科学数据共享平台 |
| | | 表土质地 | 0.025 | — | 金坛农用地分等数据库 |
| | | 土层厚度 | 0.021 | — | |
| | | 土壤有机质含量 | 0.018 | — | 江浙沪气象站点实测值 |
| | | 年均降水量 | 0.107 | — | |
| | | 水源保证率 | 0.018 | — | 金坛农用地分等数据库 |
| | | 植被覆盖度 | 0.037 | $VF=\frac{NDVI-NDVI_{min}}{NDVI_{max}-NDVI_{min}}$ | SPOT 数据 |
| 胁迫因子 | 0.3 | 湿地年均减少率 | 0.06 | — | 2011 年金坛土地利用变更调查数据库 |
| | | 建设占用耕地率 | 0.144 | — | |
| | | 土壤综合污染指数 | 0.051 | — | 金坛 4 km ² 多目标地球化学采样实测数据 |
| | | 土壤 pH 值 | 0.036 | — | |
| 结构因子 | 0.26 | 生态用地优势度 | 0.121 | 景观优势度指数(LDI) | 2011 年金坛土地利用变更调查数据库 |
| | | 生态连通性 | 0.048 | 连通性指数(COHESION) | |
| | | 景观多样性指数 | 0.074 | 香农多样性指数(SHDI) | |
| 效益因子 | 0.15 | 生态服务价值 | 0.151 | — | |

注:地形位指数中 T 为地形位指数; E 为任一栅格的高程值; \bar{E} 为研究单元内的平均高程值; S 为任一栅格的坡度值; \bar{S} 为研究单元内的平均坡度值。植被覆盖度计算公式中 VF 为植被覆盖度; $NDVI_{min}$ 为 $NDVI$ 最小值; $NDVI_{max}$ 为 $NDVI$ 最大值。结构因子指标计算参见 Fragstats 3.3 软件说明。生态服务价值计算公式参见戴靓等^[1]研究。

2.2 研究方法

2.2.1 冷热点分析 空间热/冷点布局的分析旨在探究各指标类型属性值的“中心”(高值集聚, hotspots)和“洼地”(低值集聚, coldspots), 主要基于空间计量地理学的空间自相关思想, 其数理依据为 Anselin 在 1995 年所提出的空间局部自相关统计量 (Local Indicators of Spatial Association, LISA), 通过计算局部 Getis-Ord G_i^* 值定量判断区域极高或极低值要素的聚集情况。Getis-Ord G_i^* d 表达式为

$$G_i^* d = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} (d) x_j}{\sum_{j=1}^n x_i} \quad (1)$$

为了便于解释和比较, 对 $G_i^* d$ 进行标准化处理

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\text{var}(G_i^*)}} \quad (2)$$

式中: $E(G_i^*)$ —— G_i^* 的数学期望; $\text{var}(G_i^*)$ —— G_i^* 的方差; w_{ij} ——空间的权重。若 $Z(G_i^*)$ 为正且显著, 则说明位置 i 周边的值相对较高, 属于热点区; 反之, 若 $Z(G_i^*)$ 为负值且显著, 则说明位置 i 周围的值相对较低, 属于冷点区^[13]。已有研究中, 一般 x_j 值用的是各冷热点分析指标的属性值。

2.2.2 梯度分析模型 常用的城乡梯度分析, 主要包括条带梯度分析 (transect gradient analysis) 和环形梯度分析 (circle gradient analysis) 两种^[14]; 为研究梯度分析中的各向异性问题, 也有学者开展了四向与八向环形梯度分析^[15]。条带梯度分析是以区域城镇中心为基准, 取东西向或南北向或其他方向上特定长宽的连续单位空间, 进而分析特定方向上研究对象的梯度变化; 环形梯度分析也是以区域城镇中心为基础, 以特定长度为增量半径向外做圆而等距环, 进而分析由城镇中心向远郊乡村研究对象的梯度变化。条带梯度分析有利于揭示研究对象变化的细节信息, 而环形梯度分析有利于揭示研究对象变化的一般趋势。因此, 本文将首先运用环形梯度分析确定金坛市土地生态指数空间分异的城乡梯度变化规律和梯度力, 再结合条带梯度分析城镇化对土地生态影响的细节。

环形梯度分析与条带梯度分析的步骤相似, 包括城镇中心的确定, 增量半径或样方大小的选取, 以及各梯度研究对象信息统计对比三个主要步骤。其具体操作较为简单, 关键在于城镇中心的确定和增量半径或样方大小的选取两步骤。已有相关研究中, 对城镇中心的确定或回避^[16]或以地区政府经纬度为代表, 缺乏科学性与普适性。本文认为, 选取区域中心商业区 (Central Business District, CBD) 范围, 运用重心法计算城镇中心经纬度可以较好地满足相关研究及推广需求。

重心模型的基本原理为: 假设某区域 CBD 由 n 个相对集聚的不连续平面空间单元构成, 其中第 i 个单元的地理中心坐标为 (X_i, Y_i) , Z_i 为该平面单元的占地面积, 则 CBD 重心坐标 (\bar{X}, \bar{Y}) 为

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Z_i}{\sum_{i=1}^n Z_i} \quad (3)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i Z_i}{\sum_{i=1}^n Z_i} \quad (4)$$

重心模型实质上对离散要素空间坐标的面积加权, 该过程不涉及主观判断, 主要是相对的客观计算, 可以基于 ArcGIS 软件平台等完成操作。此外, 增量半径或样方大小问题在已有研究中也通常被忽视或回避^[17-18], 选取的主观性较强。本文认为, 尺度选择主要应依据信息解译原则, 即所选择的研究尺度应足够小以致充分揭示研究对象的梯度变化规律, 但尺度不宜比基础数据的“最粗”尺度小。据此, 本文提出基于平均单元面积法确定所选尺度。具体公式为

$$\Delta_{\text{dis}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}} \quad (5)$$

式中: S_i ——基础数据的统计单元的面积; n ——其数量。就本文而言, S_i 为金坛市 165 个行政村的相应面积, n 即等于 165。

3 结果与分析

3.1 土地生态指数冷热点分析

在 ArcGIS 9.3 中的 Hot Spot Analysis 下, 进行土地生态指数的冷热点计算, 可以得到其空间分异的冷热点图 (图 1)。

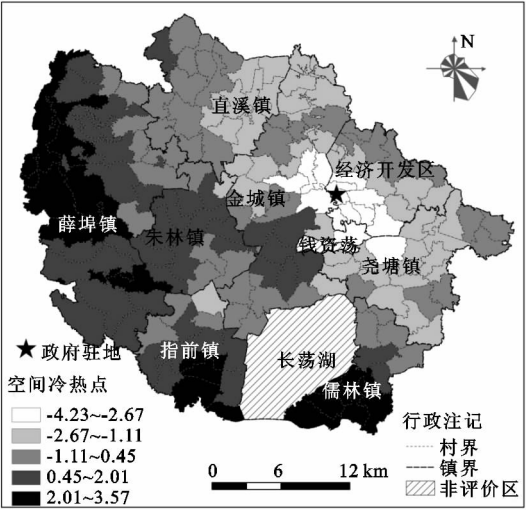


图 1 土地生态指数空间冷热点分布

显而易见, 金坛市县域范围内的土地生态指数呈现出的“核心—边缘”结构, 即由城镇中心向远郊土地生态指数下降, 主城区附近片区土地生态指数显著低值集聚, 而外围远郊各村区域土地生态指数则呈显

著高值集聚。这一空间分异现象与空间经济学或新经济地理学所证实,由于规模报酬递增与交易成本所导致的区域发展过程中自生演化的城乡二元“核心—边缘”结构^[19-20]相契合。

3.2 土地生态城乡梯度分析

土地生态指数热点分析表明金坛市土地生态质量具有城乡分布规律,为了进一步探讨金坛市细节上的土地生态质量城乡梯度规律,运用城乡梯度法对金坛市作土地环形梯度和条带梯度的分析。城乡梯度分析法在景观生态学及相关领域中得到广泛运用,并被证明为揭示事物空间分布模式及其人文影响因素的有效研究方法^[20]。其基本思想是,通过空间换时间的策略,使得特定事物在不同发展阶段下的不同状况在同一地理范围内得到空间显化,从而可以通过进一步的对比研究发现事物的发展规律与驱动机制。

3.2.1 土地生态环形梯度分析 首先,在 2011 年金坛市土地利用数据库中,提取所有城镇用地,通过 Fragstats 定位出其最大斑块。在 ArcGIS 9.3 中,利用 mean center 工具定位出最大城镇斑块的重心,即得到 CBD 重心。其次,根据 165 个行政村面积统计,得到平均面积为 5.42 km²,则每个评价单元平均外切步长为 2 328.83 m。同时,基础数据中栅格数据基本重采样到 30 m 空间分辨率。所以,环形梯度增量半径的选取满足为外切步长和基础数据空间分辨率的最小公倍数,即 2 400 m。最后,以 CBD 重心为中心,每 2 400 m 为增量半径,通过 multiple ring buffer 向外作 12 个圈层以进行环形梯度分析(图 2)。

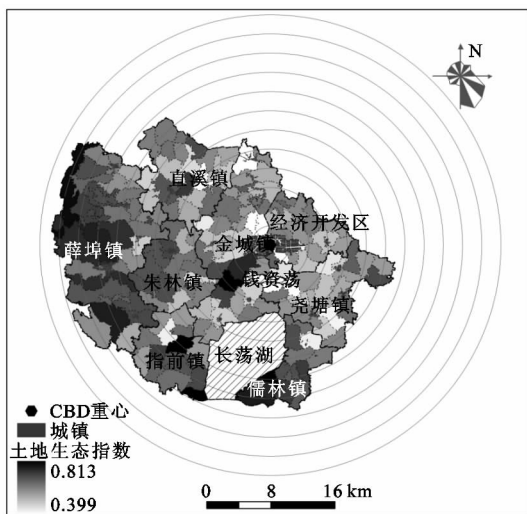


图 2 金坛市环形梯度分析示意图

对这 12 个从 CBD 中心向外拓展的各圈层所包含的行政区域的土地生态基础分值、土地生态结构分值、土地生态胁迫分值、土地生态效益分值和土地生态指数 5 个值进行面积加权,以得到各圈层可比的 5

个指标值,如图 3 所示。

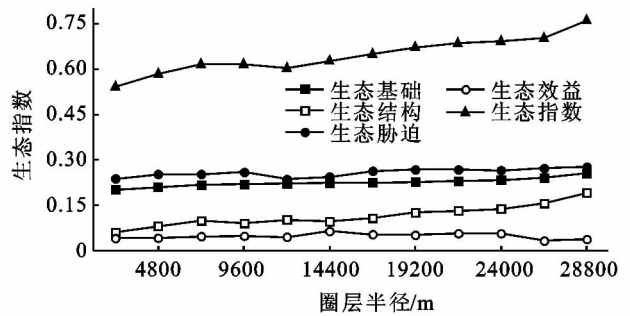


图 3 各圈层土地生态状况分值对比

研究发现:沿着金坛市“城镇—城乡结合部—近郊—远郊”梯度变化,从 CBD 中心向外,总体上区域土地生态指数不断升高;各圈层土地生态基础相差不大,由内向外呈逐步升高趋势,即就区域生态本底而言,外围地区略优于核心地区;金坛市外圈层比内圈层土地生态结构优良,城镇远郊地带较近郊地区明显要好;各区域由于直接人为驱动的生态胁迫程度不具备明显的梯度特征,而具有显著的局域特性;中远郊地带土地利用的生态效益优于近郊地带,但差别不大。

进一步地对土地生态指数与各圈层半径做回归分析,结果如图 4 所示,方程拟合显著,城乡空间梯度变化能解释 92.3% 的区域土地生态指数差异。结果表明,沿地区 CBD 中心向外围地带的梯度来看,区域土地生态质量的改善非常显著,每 2 400 m 向外总土地生态指数提高 1.6 个百分点,金坛市最边缘地带土地生态指数比其最核心圈层要高 17.6 个点。

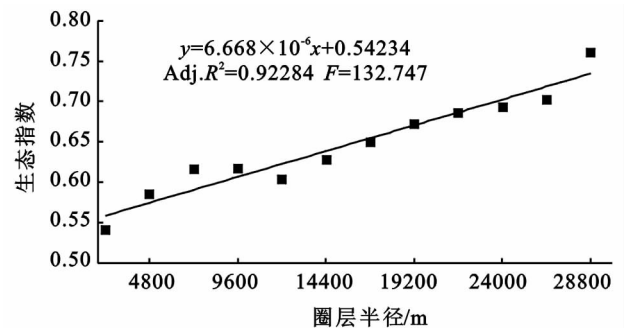


图 4 土地生态指数的城乡梯度拟合分析

3.2.2 土地生态条带梯度分析 为更好地研究金坛市土地生态指数城乡梯度细节,本节尝试建立如图 5 所示的 8 方向 4 条带分析梯度,并以金坛市 CBD 中心为零点,对每个样方编号。其中,东—西样带有 17 个样方,西 11 个东 5 个;南—北样带有 14 个样方,南 8 个北 5 个,但由于南半样带跨非评价区的钱资荡和长荡湖地区,导致样方南—4 数据失真、样方南—5 数据缺失;西北—东南样带有 11 个样方,西北 6 个东南 4 个;

东北—西南样带有 10 个样方,东北 2 个西南 7 个。

同样利用面积加权求和法,计算每个样方的土地生态基础分值、土地生态结构分值、土地生态胁迫分值、土地生态效益分值和土地生态指数 5 个指数值进行比较,各样带统计曲线对比如图 6 所示。

观察 4 条土地综合分值曲线是否大致呈倒 U 型曲线,以及横坐标 0 值处曲线位于最低点,可见无论从哪个方向取条带梯度样方,从边缘地区向核心地区过渡,局地土地生态分值将显著下降,其原因在于生态结构的差异。图 5 表明东—西向、南—北向两条样带的综合分值曲线呈明显倒 U 型,西北—东南向和东北—西南向两样带的综合分值曲线也近 0 值范围内呈倒 U 型。和生态结构曲线的对比观察发现,综合分值曲线的整体走势主要取决于生态结构曲线。

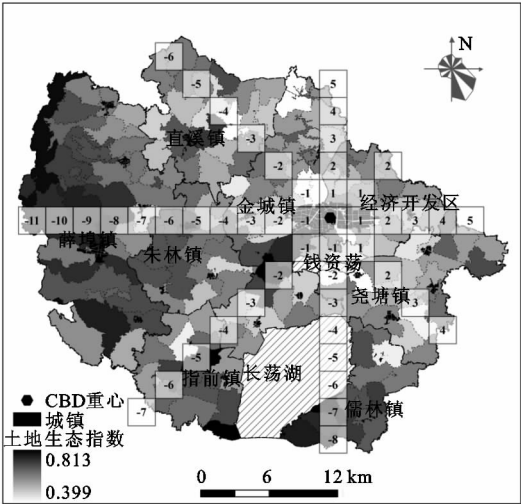


图 5 金坛市条带梯度分析示意图

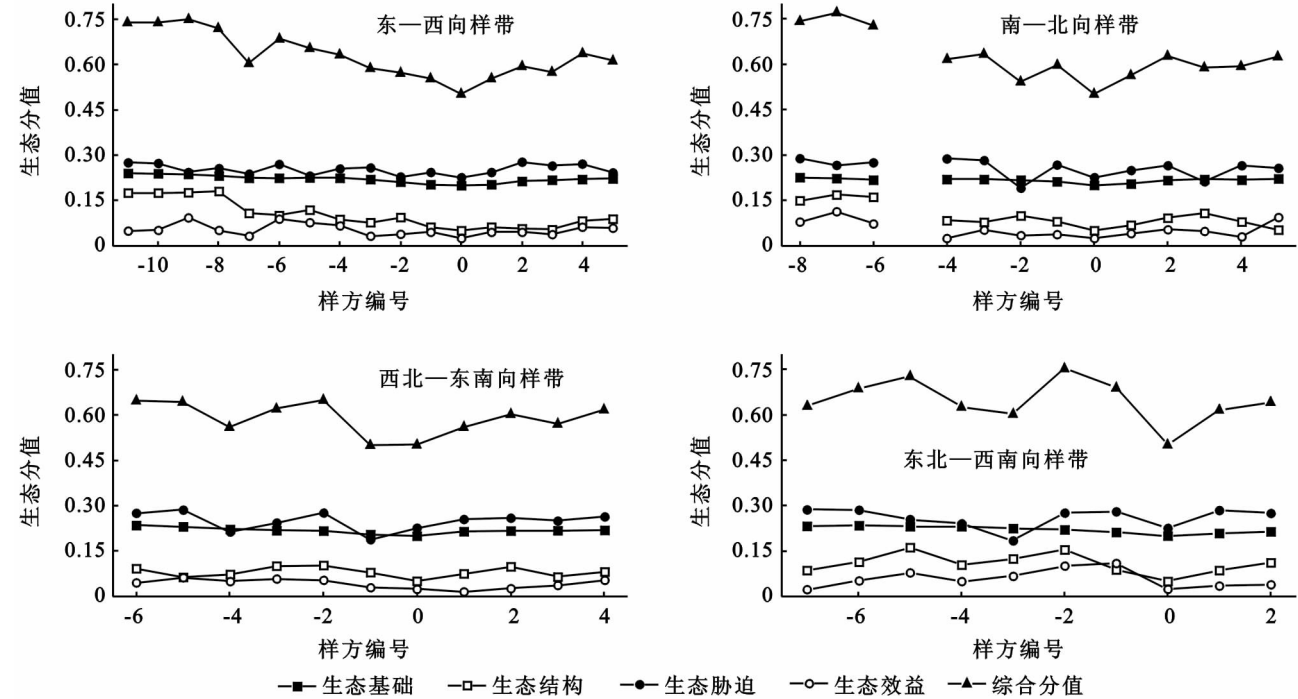


图 6 各样带土地生态状况分值对比

另一方面,观察四条土地综合分值曲线的反常值所属样方,对应图 5 找到其空间位置,根据其是否包含城镇建成区以及包含面积或与建成区临近程度,可以发现包含建制镇的样方区域,其局地土地生态质量将会出现异常波动,比正常状态要差。图中有东—7 样方、西—3 样方、南—2 样方、南—4 样方、北—3 样方、北 4 样方、西南—3 样方、西南—4 样方、西北—2 样方、西北—4 样方和东南—3 样方等计 11 个样方出现逆城乡梯度规律现象。结合图 6 分析可知,北 4 样方受边缘效应影响、南—2 样方和南—4 样方由于包含钱资荡水域或长荡湖局域而造成指数信息失真,其他逆城乡梯度样方除西北—4 样方和西南—4 样方外都主要受到城镇建成区的影响,这两个样方的反常可

能是由于区域土壤酸化较严重导致的,需要后续研究进一步探究。

为定量揭示区域土地生态指数与各准则层分值的相关关系,以 4 条带 51 个样方为样本通过逐步回归,建立了如下作用方程。

$$y=1.4788x_1+1.2134x_2+0.1701$$
$$(R^2=90.77,F=246.7349)$$

式中: y ——各样方土地生态指数; x_1 ——生态结构分值; x_2 ——生态胁迫分值。方程通过显著性检验,拟合精度超过 90%,表明生态结构与生态胁迫是影响区域土地生态指数的主要因素,且由回归系数可知区域土地生态质量对土地生态结构的敏感性比对土地生态胁迫的敏感性更强。

结合以上分析,可以得出结论:从区域经济社会发展的核心地区向边缘地区过渡,局地土地生态质量具有显著改变的城乡梯度响应规律,其改变主要源于边缘地区的土地生态结构优于核心地区,而不同地区土地利用生态结构分值的不同则是导致局地土地生态质量波动变化的主要原因。

4 结论

(1) 金坛市的土地生态指数冷热点分析显示,土地生态质量空间分异特征符合城乡梯度规律,土地生态指数呈现“核心—边缘”结构,城镇化是导致土地生态质量分布城乡梯度规律的重要原因。

(2) 金坛市的环形梯度分析表明,土地生态指数沿着金坛市“城镇—城乡结合部—近郊—远郊”梯度变化,总体上随该梯度区域土地生态指数不断升高,沿城镇中心向外每增加 2 400 m 土地生态指数提高 1.6%。

(3) 金坛市的条带梯度表明土地生态质量分布的城乡梯度规律:土地综合分值曲线大致呈倒 U 型曲线,最大城镇斑块处曲线位于最低点;包含建制镇的样方区域土地生态质量处于低值,主要原因是受到城镇建成区的影响,由此说明不仅城镇中心土地生态质量状况处于最低值,而且城镇所在地土地生态质量都会比正常状态差。区域土地生态指数与各准则层分值之间的回归分析表明区域土地生态质量主要影响途径是通过区域土地生态结构的影响和经济社会发展过程中对土地利用的人文胁迫作用,且主要取决于结构分值的影响。

(4) 本文对土地生态指数空间分异规律作了深入探究,而对土地生态指数空间分异的驱动力分析和主控因子识别将在进一步研究中进行探索。

参考文献:

- [1] 戴靓,姚新春,周生路,等. 长三角经济发达区金坛市土地生态状况评价[J]. 农业工程学报,2013,29(8):249-257.
- [2] 刘焱序,李春越,任志远,等. 基于 LUCC 的生态型城市土地生态敏感性评价[J]. 水土保持研究,2012,19(4):125-130.
- [3] 钟晓兰,周生路,李江涛,等. 长江三角洲地区土壤重金属污染的空间变异特征:以江苏省太仓市为例[J]. 土壤学报,2007,44(1):33-40.
- [4] 李保杰,顾和和,纪亚洲. 矿区土地复垦景观格局变化和

生态效应[J]. 农业工程学报,2012,28(3):251-256.

- [5] 许月卿. 基于生态足迹的北京市土地生态承载力评价[J]. 资源科学,2007,29(5):37-42.
- [6] 黄海,刘长城,陈春,等. 基于生态足迹的土地生态安全评价研究[J]. 水土保持研究,2013,20(1):193-196.
- [7] 许国平. 中国土地资源安全评价研究进展及展望[J]. 水土保持研究,2012,19(2):276-279.
- [8] 孙洪波,杨桂山,苏伟忠,等. 沿江地区土地利用生态风险评价:以长江三角洲南京地区为例[J]. 生态学报,2010,30(20):2253-2260.
- [9] 刘孝富,舒俭民,张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用:以厦门为例[J]. 生态学报,2010,30(2):421-428.
- [10] 徐美,朱翔,刘春腊. 基于 RBF 的湖南省土地生态安全动态预警[J]. 地理学报,2012,67(10):1411-1422.
- [11] 李晓倩,刘学录. 土地评价指标权重赋值方法的比较分析[J]. 甘肃农业大学学报,2012,27(5):129-133.
- [12] Chen-jing FAN, Shi-guang S, Si-hui W, et al. Research on urban land ecological suitability evaluation based on Gravity-Resistance Model: A case of deyang city in China [J]. Procedia Engineering,2011,21:676-685.
- [13] 杨宇,刘毅,金凤君,等. 塔里木河流域绿洲城镇发展与水土资源效益分析[J]. 地理学报,2012,67(2):157-168.
- [14] Luck M, Wu J. 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] Aithal B H, Sanna D D. Insights to urban dynamics through landscape spatial pattern analysis[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2012,18:329-343.
- [16] 张利权,吴健平,甄彧,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.
- [17] Hahs A K, McDonnell M J. Selecting independent measures to quantify Melbourne's urban-rural gradient [J]. Landscape and Urban Planning,2006,78(4):435-448.
- [18] 尹海伟,孔繁花. 济南市城市绿地时空梯度分析[J]. 生态学报,2005,25(11):218-226.
- [19] 宋成舜,周惠萍,刘成武,等. 鄂东南丘陵地区优化城乡用地结构和布局研究:以湖北省崇阳县为例[J]. 水土保持研究,2010,17(1):72-76.
- [20] 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.