

# 京杭大运河江苏段沿线土地生态空间差异及响应

葛亮<sup>1</sup>, 高扬<sup>2</sup>, 陆春锋<sup>3</sup>, 王君櫛<sup>1</sup>, 吴滢滢<sup>1</sup>, 周生路<sup>1</sup>

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. 扬州市国土资源局,  
江苏 扬州 225002; 3. 江苏第二师范学院城市与资源环境学院, 南京 210013)

**摘要:**土地作为人类赖以生存的物质基础,其生态状况与人类发展密切相关。京杭大运河作为世界上最长的人工运河,极大地促进其沿线地区的经济发展与文化交流,因此,在目前社会经济快速发展的背景下,对京杭大运河沿线的土地生态空间差异研究就显得尤为迫切。以京杭大运河江苏段沿线流经县(市、区)为研究区,从自然基础、污染退化、生态结构、生态建设四方面构建了土地生态状况的评价体系;在得出评价结果的基础上使用冷热点分析模型,从聚集性分析其空间差异;最后,从“全局土地生态—社会经济—大运河条件”三方面出发,定量化分析土地生态状况对各影响因子的响应程度。结果表明:研究区各要素生态状况与综合生态状况都呈现了自北向南的下降趋势;研究区土地生态呈现较显著的空间差异性,存在南北梯度与城乡梯度;研究区土地生态状况对各类影响因子响应程度不同,整体主要受到 GDP 与财政收入的影响,其次受到河道蜿蜒度、年均降水量、植被覆盖度的影响。

**关键词:**土地生态;评价;空间差异;影响因子;京杭大运河

**中图分类号:**F301.24; X826

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2019)01-0330-08

## The Spatial Difference and Response of the Land Ecological Space Along Jiangsu Section of the Beijing-Hangzhou Grand Canal

GE Liang<sup>1</sup>, GAO Yang<sup>2</sup>, LU Chunfeng<sup>3</sup>, WANG Junxiao<sup>1</sup>, WU Yingying<sup>1</sup>, ZHOU Shenglu<sup>1</sup>

(1. Department of Geography and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023,

China; 2. Yangzhou National Territory Resources Bureau, Yangzhou, Jiangsu 225002, China;

3. Department of City and Resources of Environment, Jiangsu Second Normal University, Nanjing 210013, China)

**Abstract:** As the basis of human survival, the ecological quality of land is closely related to human development. As the longest artificial canal in the world, Beijing-Hangzhou Grand Canal greatly promotes the economic development and cultural exchange in the areas along the line. Therefore, under the current background of rapid social-economic development, it is urgent to study the spatial differences of land along the Beijing-Hangzhou Grand Canal. Based on the counties (cities and districts) flowing along the Beijing-Hangzhou Grand Canal in Jiangsu Province, we constructed the evaluation system of the ecological conditions of the land from four aspects: natural foundation, pollution degradation, ecological structure and ecological construction. Based on the evaluation results, the hot and cold spots analysis model was used to analyze the spatial differences from the aggregation. Finally, the quantitative analysis of the results was given from three aspects which incorporated ‘global land ecology, social economic and the Grand Canal condition’. The results showed that: (1) the ecological status and comprehensive ecological status of each factor in the study area presented the downward trend from north to south; (2) there was the significant spatial difference in the land ecology in the study area with the north-south gradient and urban-rural gradient; (3) the ecological status of the study area responded differently to all kinds of influencing factors. The whole area was mainly affected by GDP and fiscal revenue, followed by meandering degree of the river, mean annual precipitation and vegetation coverage.

**Keywords:** land ecology; evaluation; spatial differences; impact factor; Beijing-Hangzhou Grand Canal

土地作为人类赖以生存的物质基础,其生态状况与人类发展密切相关。如今,随着社会经济不断发展,人地矛盾日益突出,土地生态环境遭到了严重的破坏。为防止土地生态状况的进一步恶化,评价土地综合状况、探寻其规律并提出相应的预防措施就显得尤为重要<sup>[1]</sup>。土地生态综合状况的评价是从土地生态系统结构、功能、价值及生态环境质量方面入手,系统地衡量并评价人类活动对土地资源及其生态效应的影响,从而为土地资源可持续利用提供科学工具和重要途径<sup>[2-3]</sup>。目前,国内外针对土地生态方面的研究已经很多,内容方面主要从土地生态安全性、敏感性、适宜性等方面进行探讨<sup>[4-5]</sup>;技术方面主要集中在评价原则分析、指标体系建立探索等方面<sup>[6]</sup>;而全面地从土地自然基础、污染退化、生态结构、生态建设四方面对土地生态进行科学综合评价的研究很少。并且,针对土地生态状况的研究多以行政单位(省、市、县)为研究区<sup>[7-8]</sup>,以流域或运河沿线土地为研究区的则相对较少<sup>[9]</sup>,而以京杭大运河沿线土地为研究区的则更少。

京杭大运河作为世界上开挖最早、流程最长的人工运河<sup>[10]</sup>,目前对其生态环境相关的研究集中在生态环境变迁、水质状况研究等方面,如:王晓等对大运河徐州段沿线 12 个底泥样本的重金属分布状况进行了分析<sup>[11]</sup>;夏骥等针对京杭大运河无锡段分析了其水质与土地利用的响应关系<sup>[12]</sup>;华常春等以 1997—2008 年大运河扬州市区段水质监测数据为基础,分析了其水质状况<sup>[13]</sup>。但是,整体地从自然社会角度考虑大运河生态环境的研究开展的相对不足,以土地生态状况为切入点,探究京杭大运河江苏段的周边生态环境的保护与利用的研究则更少。因此,本文以大运河江苏段沿线县(市、区)土地生态状况分析为基础,构建土地生态综合评价体系,分析其土地生态综合状况及各要素层的空间差异,同时从全局土地生态因子、经济社会条件、大运河条件三方面入手,建立影响因子体系,剖析各项因子对大运河周边土地生态环境的影响机制。

## 1 研究区概况和数据来源

### 1.1 研究区概况

京杭大运河江苏段全长 683 km,北起苏鲁交界的大沙河口,南至苏浙交界的油车墩,以长江为界分为苏北运河与苏南运河。流经徐州、宿迁、淮安、扬州、镇江、常州、无锡、苏州 8 个地级市中 14 个区县,以大运河流经县(市、区)作为研究区,总面积为 2.1

万 km<sup>2</sup>。京杭大运河江苏段处平原地区,整体地势平坦,总地势由北向南地势逐渐降低,零散分布着低山、丘陵。研究区处于温带向亚热带的过度性气候,光照充足、雨热同期。至 2013 年底,研究区内总人口已达 1 747.80 万人,实现国内生产总值 22 986.27 亿元,人均地区生产总值 88 591.49 元。研究区 GDP 均高于苏中(11 297.81 亿元)、苏北地区(13 558.88 亿元),低于苏南地区(36 385.87 亿元)。其区位图如图 1 所示。

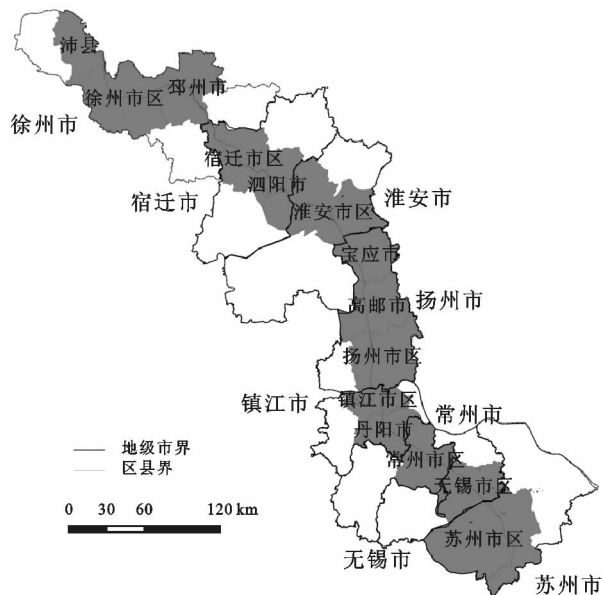


图 1 研究区范围

### 1.2 数据来源

通过对京杭大运河沿线县(市、区)土地生态综合调查与分析,本论文基于各类研究的特点并结合研究内容,依据相应原则构建土地生态综合评价指标体系,参考前人相关研究,从土地自然基础、污染退化、生态结构、生态建设状况四方面,构建土地生态质量调查指标体系,其构成包括准则层、指标层和元指标层,共计 19 个指标的指标体系<sup>[14-16]</sup>。在权重确定方面,根据各准则层的评价指标特点进行综合考虑,本文选择熵权法进行权值的确定<sup>[17-18]</sup>。各指标计算公式及解释、数据来源见表 1。

土地自然基础层反映研究区基础性的地形、气候、土壤状况等自然特点,选择具有代表性的地形指数、年均降水量等 4 个基本指标,且由于研究区处于水网密集地区,水域对周边土地生态环境影响不容小觑,因此加上了水域面积比这个指标。土地污染退化状况反映人类活动对土地生态环境所带来的污染、损毁、退化状况,在一定程度上代表了该地区的人为活动的影响程度,因此,土地退化方面主要选择了土壤污染综合指数、林地年均退化率、湿地年均退化率

等指标,同时基于研究区水网特点,也考虑水域污染状况作为衡量污染退化状况的因素。土地生态结构指标反映基本的土地利用格局,针对京杭大运河江苏段的文化遗产特性,着重考虑了生态用地方面,故分别选择土地利用类型多样性指数、斑块多样性指数等

4 个指标来进行评价。土地生态建设状况反映土地生态恢复与建设程度,主要从生态效益方面着手,基于“数量—质量—价值”三位一体发展,选择了生态用地年均增加率、NPP 年均增加率、生态服务价值年均增加率 3 个指标来进行评价。

表 1 研究区土地生态指数指标体系及数据来源

准则层	指标	属性	权值	数据来源
自然基础状况	地形位指数	适度	0.0675	2013 年 DEM,SLOPE 数据,30 m 分辨率
	年均降水量	适度	0.1192	引用气象部门已有数据
	土壤有机质	+	0.0035	引用已有数据和布点采样调查数据
	植被覆盖度	+	0.0503	2013 年 NDVI 数据集
	水域面积比例	+	0.0664	2013 年土地利用变更数据
污染退化状况	土壤污染综合指数	—	0.0102	
	林地年均退化率	—	0.0022	多目标地球化学调查数据
	湿地年均退化率	—	0.0116	2010—2013 年土地利用变更调查数据
	建设用地占用耕地率	—	0.0335	根据环保部门监测数据进行插值
	非渗透性地表比例	—	0.1196	
	水域污染状况	—	0.1208	
	其他用地多样性指数	+	0.0837	
生态结构状况	建设用地集聚度	+	0.0483	2013 年土地利用变更数据
	农用地集聚度	+	0.0898	2013 年土地利用变更数据
	生态连通性	+	0.0489	2013 年土地利用变更数据
	水系连通性	+	0.0651	
	生态用地年均增加率	+	0.0287	2013 年土地利用变更数据
生态建设状况	NPP 年均增加率	+	0.0152	遥感影像数据
	生态服务价值年均增加率	+	0.0155	2013 年土地利用变更数据

注:“+”表示正向指标;“—”表示负向指标。

2 研究方法

2.1 冷热点分析模型

冷热点模型可用来识别空间中具有统计显著性的高值(热点)和低值(冷点)的空间集聚,主要通过计算 Getis—Ord  $G$  值来判定区域内冷热点的集聚情况<sup>[19]</sup>。

Getis—Ord 的局部表达式可表示为:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}}$$

式中: $x_j$ 是要素  $j$  的属性值; $w_{i,j}$ 是要素  $i$  和  $j$  之间的空间权重; $n$  为要素总数,且:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$G_i^*$  统计是  $z$  得分,因此无需做进一步的计算。通过计算,可得到相应的  $z$  得分和  $p$  值,根据此可以推断高值或低值要素在空间上发生聚类的位置,其中  $z$  得分基于随机化零假设进行计算,为标准差的倍数, $p$  值则表示所观测到的空间模式是由某一随机过

程创建而成的概率。

冷热点模型的计算时,将计算每个要素与其相邻要素的局部总和,并计算由所有要素的总和估算的该局部的总和,将两者进行比较;当两者很大差异,以致于无法成为随机产生的结果时,则会产生一个具有显著统计学意义的  $z$  得分。

为方便比较,将  $G_i^*$  进行标准化处理,得到:

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

式中: $E(G_i^*)$  为  $G_i^*$  的数学期望; $\text{var}(G_i^*)$  为  $G_i^*$  的方差。如  $Z(G_i^*)$  为正相关,则表示该处为高值聚集区域,为该数据集的热点;如  $Z(G_i^*)$  为负相关,则表示该处为低值聚集区域,为该数据集的冷点。

2.2 线性模型冗余分析方法

目前,国内外学者主要基于 CANOCO 的数据统计分析方法应用于探究物种组成和分布与环境因子之间的关系<sup>[20]</sup>,而基于 CANOCO 的数据统计分析方法应用到土地生态状况与其影响因素关系的研究还不多。

线性模型冗余分析方法(RDA)研究土地生态状况与其影响因素的关系。将所得的土地生态状况及其各

要素层数据与所得的经济社会因子、大运河条件因子数据作为输入,应用国际通用分析软件 CANOCO 4.5 的作图软件 CAN-ODRAW 4.5 进行 RDA 分析,揭示土地生态对影响因素的响应机制。

首先选取相应的数据作为物种变量以及环境变量,用 Wcanolmp 工具将物种变量和环境变量转换成 CANOCO 可读取的格式进行保存;然后,物种变量数据进行除趋势对应分析(DCA),再根据地图长度确定本研究适合的排序模型(RDA,CCA),观察 DCA 分析结果中 Lengths of gradient 的第一轴的大小,若 Lengths of gradient 值大于 4.0,则优先考虑选择 CCA 模型;若其值处于 3.0~4.0,选择 RDA,CCA 模型均可;若小于 3.0,则优先考虑选择 RDA 模型。

2.3 综合指数评价法

目前,土地生态相关研究中的评价方法主要有单因子指数法、综合指数法、物元评价法等,各方法均有优势与不足。根据研究内容结合各种评价方法的特点,考虑到研究区的本身特点及评价过程的可操作性与客观程度性,本文选用综合指数法,具体公式如下:

$$LEC = \sum_{i=1}^n Y_i \times W_i$$

式中:LEC 是土地生态指数(Land Ecological Condition); $Y_i$  是标准化后第  $i$  个指标的值; $W_i$  是第  $i$  个指标的权重; $n$  为指标总数。

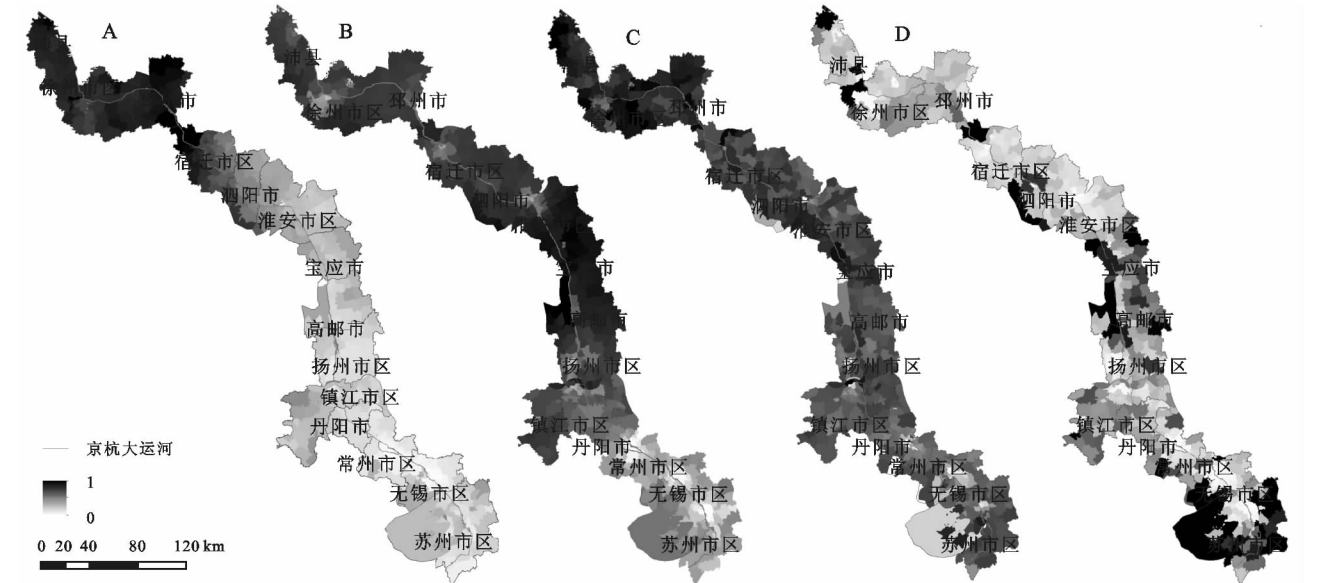
3 结果与分析

3.1 土地生态要素的空间差异

基于 ArcGIS, Fragststs, Envi, SPSS 等平台,按照综合指数评价法来对研究区的土地进行生态评价,

可得出土地生态各要素空间分布,见图 2。

研究区自然基础状况从北向南呈现出梯度状下降的趋势。自然基础状况较好的地区主要分布在研究区北部,这些地区主要受到年均降水量与植被覆盖度的影响,自然基础状况较好;自然基础状况较差的地区主要分布在研究区南部,包括常州市区与无锡市,由于南部属于发达地区,植被覆盖度差、土壤有机质含量低、水域面积比例低,导致了自然基础状况差。研究区污染退化状况的空间分布与研究区内城镇分布状况较为吻合。污染退化较严重的地方均位于各区县的中心地带,且市区状况差于县级市状况,南部市区状况差于北部市区。污染退化较严重地区位于研究区南部,包括常州市区、无锡市区,两地均呈现出中心向四周扩散增长的趋势。污染退化较好的地区包括邳州市、泗阳市、宝应市等县级市。这样的空间分布是由于非渗透性地表比例的增加所造成的,反映了在城镇化过程中,建设用地的扩展造成了污染退化状况的加重。研究区生态结构状况的空间分布呈现出从北向南逐渐降低的趋势。生态结构状况较好的地区分布在研究区北部,北部地区土地利用类型丰富,农用地集聚度高,生态连通性较好。南部地区多为发达城镇地区,非渗透性地表覆盖较广,用地类型单一,生态连通性较差。研究区生态建设状况的空间分布较为平均。明显的低值地区主要分布在常州、无锡、淮安、宿迁市区中心部分镇区。市区中心主要以建设用地为主,因此生态用地年均增加率较低,导致 NPP 年均增加率、生态服务年均增加率均较低。



注:A 为土地生态自然基础状况空间差异;B 为土地生态污染退化状况空间差异;C 为土地生态结构状况空间差异;D 为土地生态建设状况差异。

图 2 研究区土地生态各要素空间差异

### 3.2 土地生态综合状况的空间差异

根据综合指数评价法,对各个指标加权求值并综合自然基础、污染退化、生态结构、生态建设各要素,利用 ArcGIS 做出研究区土地生态综合状况空间分布图,结果如图 3A 所示。研究区土地生态综合状况空间分布呈现出明显的由北向南逐渐降低的趋势,具有一定的南北梯度效应。具体而言,研究区南部地区土地生态综合状况最差,包括常州市区、无锡市区,具体来说这两个地区土地生态综合状况表现出中心差四周好的趋势,研究区最南部苏州市区相对较好,主

要是因为境内太湖面积较大,使得水域面积比、水系连通性等指标明显提升,对土地生态综合状况有着显著的积极作用;随着研究区逐渐向北,中部地区的土地生态状况逐渐变好,包括宿迁市区、泗阳市、淮安市区等,这些地区自然基础状况一般、污染退化并不严重、生态结构平稳,促使其综合状况逐渐变好;北部地区土地生态综合状况最好,包括沛县、徐州市区、邳州市,这些地区受到自然基础状况、生态结构状况的影响,呈现出较好态势。

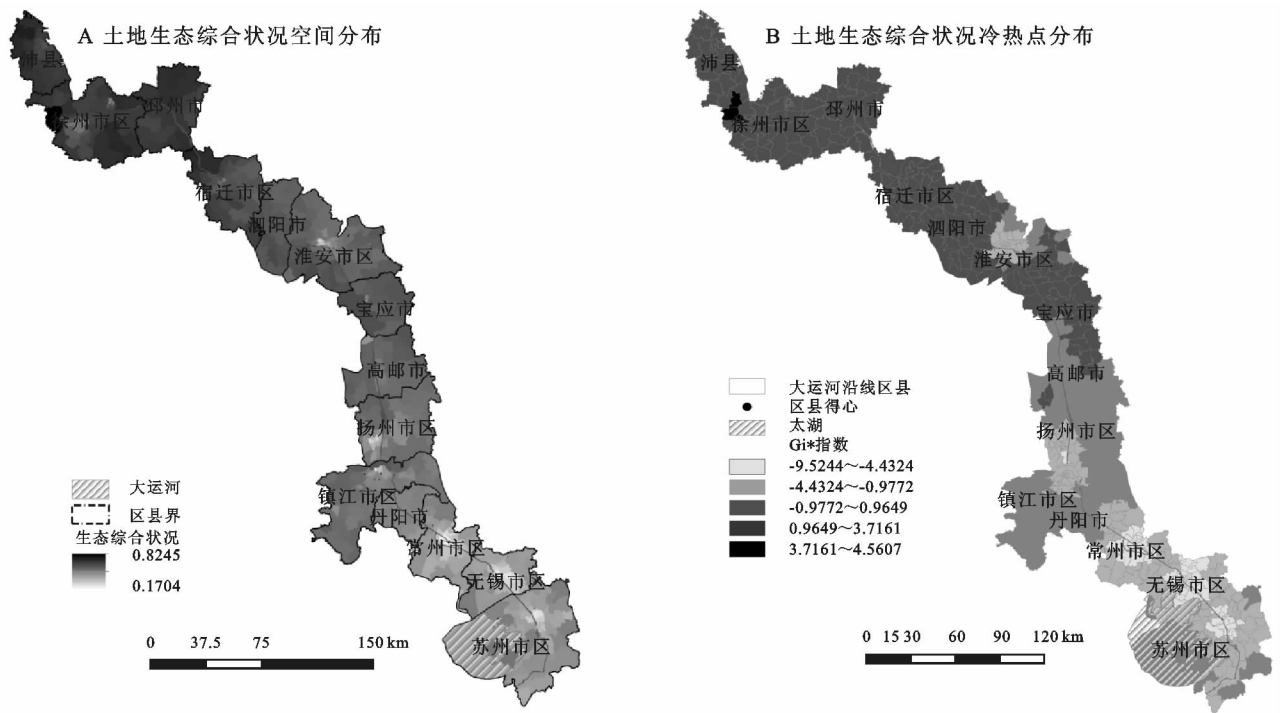


图 3 研究区土地生态综合状况分布

### 3.3 土地生态状况的冷热点分析

根据冷热点分析模型,利用 ArcGIS 中 Hot Spot Analysis 模块进行分析,得到研究区土地生态综合状况冷热点分布图,见图 3B 所示。由图可得,土地生态存在南北梯度,且市区中心比其余地方差,存在城乡梯度规律。研究区内高值主要集中在北部,具体包括沛县北部、徐州市区北部、邳州市北部,低值主要集中在南部,具体包括常州市区、无锡市区、苏州市区。

进一步分析表明,市区与其周围郊区乡村具有明显的冷热差异,市区多为低值,郊区乡村多为高值,城乡梯度规律明显。高值主要集中在沛县北部、徐州市区北部;低值主要集中在常州市区、无锡市区,而苏州市区由于太湖面积占比较大,对于土地生态综合状况有积极的影响作用,因此土地生态综合状况较常州市区、无锡市区较好。

## 4 讨论

### 4.1 土地生态状况指标因子贡献度

在研究区内,利用 ArcGIS 随机点生成工具随机布设 100 个点,并根据各点所处位置,将该处的土地生态综合状况及各要素状况进行提取。首先利用 SPSS 检验数据内部相关性,得到相关性较小,然后利用 Kolmogorov-Smirnov 检验,对数据进行正态分布检验。结果表明,综合状况渐近显著性(双侧)得分大于 0.05,满足正态分布;而各要素渐近显著性(双侧)得分均小于 0.05,不满足正态分布。因此选择 Spearman 秩相关系数进行关联性分析,结果见表 2。

由表可得,与土地生态综合状况指数相关性较大的为自然基础(0.860)、生态结构(0.828)两大要素层,因此我们进一步对该两个要素层各指标进行贡献

度分析。在检验两个要素层各指标数据满足正态分布后,选择 Pearson 相关系数对各指标进行关联性分析,结果见表 3。与土地生态综合状况指数相关性较大的为年均降水量(0.883)、植被覆盖度(0.626)两个指标,呈显著正相关的趋势。由此可见,对土地生态综合状况影响较大的因子是年均降水量和植被覆盖度,说明年均降水量越大,植被覆盖度越高,相应的土地综合状况就越好。

4.2 土地生态状况对社会经济响应

由前文分析可得,土地生态状况空间差异存在明

显的南北梯度与城乡梯度,经济社会发展为导致差异存在的重要外在因素。为进一步研究经济社会因子对研究区土地生态状况的影响,从经济总量、发展速率等六方面选取地区生产总值、近五年 GDP 增长率、近十年 GDP 增长速率等 9 个指标,分析土地生态状况对经济社会因子的响应,数据均收集自江苏省及各市统计年鉴。

在检验各指标数据 8 满足正态分布后,选择 Pearson 相关系数对各指标进行关联性分析,结果见表 4。

表 2 随机点赋值后各要素层与综合状况 Spearman 秩相关系数

Spearman 的 rho		自然基础	污染退化	生态结构	生态建设	综合状况
自然基础	相关系数	1.000	0.309**	0.600**	0.130	0.860**
	Sig. (双侧)	0.000	0.002	0.000	0.197	0.000
污染退化	相关系数	0.309**	1.000	0.306**	0.174	0.562**
	Sig. (双侧)	0.002	0.000	0.002	0.084	0.000
生态结构	相关系数	0.600**	0.306**	1.000	-0.092	0.828**
	Sig. (双侧)	0.000	0.002	0.000	0.362	0.000
生态建设	相关系数	0.130	0.174	-0.092	1.000	0.051
	Sig. (双侧)	0.197	0.084	0.362	0.000	0.611
土地生态综合状况	相关系数	0.860**	0.562**	0.828**	0.051	1.000
	Sig. (双侧)	0.000	0.000	0.000	0.611	0.000

注: \*\* 表示在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的。

表 3 随机点赋值后自然基础、生态结构各指标与综合状况 Pearson 相关系数

Pearson 相关性	地形位	年均	土壤	植被	水域	类型	建设	农用	生态	水系
	指数	降水量	有机质	覆盖度	面积比	多样性	用地 AI	地 AI	连通性	连通性
土地生态综合状况	0.511**	0.883**	-0.491**	0.626**	-0.209*	0.459**	0.072	0.037	0.225*	0.020

注: \*\* 表示在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的。\* 表示在置信度(双侧)为 0.05 时,相关性是显著的,下同。

表 4 经济社会指标与土地生态各要素层 Pearson 相关系数

Pearson	近五年 GDP	近十年 GDP	工业产值	第三产业	财政	人均	城镇建成区	人口	
相关性	GDP	增长率	增长率	比重	产值比重	收入	GDP	面积比	密度
自然基础状况	-0.447	0.520	0.457	-0.519	-0.320	-0.407	-0.419	-0.322	-0.224
污染退化状况	-0.857 **	0.495	0.389	-0.591 *	-0.803 **	-0.815 **	-0.670 **	-0.741 **	-0.717 **
生态结构状况	-0.699 **	0.534 *	0.360	-0.487	-0.577 *	-0.692 **	-0.591 *	-0.586 *	-0.365
生态建设状况	0.222	-0.242	-0.267	0.078	0.161	0.203	-0.071	0.115	0.120
土地生态综合状况	-0.730 **	0.583 *	0.467	-0.614 *	-0.616 *	-0.691 **	-0.622 *	-0.595 *	-0.484

由表 4 可得,土地生态综合状况、污染退化状况、生态结构状况主要受到 GDP、财政收入两个指标的影响,呈现明显的负相关。其中,GDP 与土地生态综合状况、污染退化状况、生态结构状况的 Pearson 相关性分别为-0.730,-0.857,-0.699,财政收入与土地生态综合状况、污染退化状况、生态结构状况的 Pearson 相关性分别为-0.691,-0.815,-0.692,说明 GDP 越高、财政收入越高的地区,经济越发达,

土地生态状况越差、污染退化状况越严重、生态结构越单一脆弱。

土地生态综合状况与近五年、近十年 GDP 增长率呈现负相关,是因为近年来苏北、苏中地区发展加速,其发展速率超过苏南地区,因此呈现了发展速率与土地生态状况同步上升的趋势。

污染退化状况与第三产业比重呈现负相关趋势,表明第三产业比重较高的地区,已开始进行产业结构

的调整,服务业的大力发展减缓了污染退化的发展,对环境有着较积极的作用。

除此之外,生态建设状况与 GDP 呈弱正相关( $p=0.222$ ),表示经济较好的地区已经开始重视生态保护;与财政收入呈较弱的正相关,表示经济较好的地区政府提供公共服务的职能越好。

4.3 土地生态状况对运河特征响应

为进一步研究大运河对周边地区土地生态环境的响应,本文从水系格局、区位因素两方面选取河网密度、河道蜿蜒度、河道面积长度比以及距离市中心距离这 4 个指标,定量分析其对土地生态状况的影响。

在检验各指标数据满足正态分布后,选择 Pearson 相关系数进行关联性分析,结果见表 6。

表 5 大运河状况指标与土地生态各要素层 Pearson 相关系数

Pearson 相关性	大运河河道 面积占比	河道 蜿蜒度	面积 长度比	距市中心 距离
自然基础状况	-0.239	-0.274	0.148	0.073
污染退化状况	-0.257	-0.620*	0.348	0.163
生态结构状况	-0.339	-0.441	0.159	0.166
生态建设状况	-0.388	0.113	-0.313	0.133
土地生态综合状况	-0.312	-0.589	0.245	0.144

由表 5 可得,土地生态综合状况、污染退化状况、生态结构状况主要受到河道蜿蜒度的影响,呈现出弱负相关的趋势,表明区域内河道蜿蜒度越大,土地生态状况越差,其中苏州市区河道蜿蜒度最大,其土地生态状况较差。

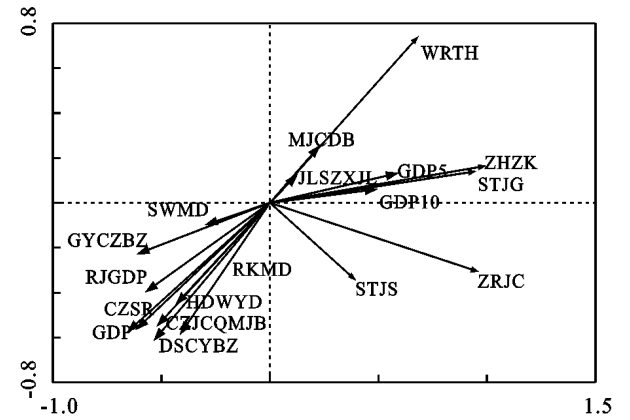
土地建设状况则受大运河河道面积占比和面积长度比的影响,呈现出较弱的负相关的趋势,表明了河道面积比越大,面积长度比越大,生态建设状况就越差。

4.4 土地生态状况指标综合影响

首先将各区的土地生态状况数据作为物种变量,各区县经济社会因子、大运河条件因子数据作为环境变量,由分析可得,本研究物种数据 DCA 分析结果中 Lengths of gradient 的第一轴的大小为 0.409,远小于阈值 3.0,因此选择 RDA 排序模型。最后根据 CANOCO 进行分析,并借助作图软件 CAN-ODRAW 4.5 生成 RDA 排序图,见图 4。

排序结果图中,根据物种箭头(土地生态状况)与环境箭头(影响因子)之间的夹角,判断环境因子对物种的影响方式。若物种箭头与环境箭头之间的夹角小于  $90^{\circ}$ ,那么两者之间的关系呈现正相关;若夹角

大于  $90^{\circ}$ ,两者关系呈现负相关;若夹角为  $90^{\circ}$ ,表明两者之间的相关关系很小。另外,排序图中,影响因子的长度表示环境因子对物种因子的综合影响程度,环境箭头越长表示影响程度越高<sup>[21-22]</sup>。



注:ZRJC 表示自然基础状况;WRTH 表示污染退化状况;STJG 表示生态结构状况;STJS 表示生态建设状况;GDP 表示地区生产总值;GDP5 表示近五年 GDP 增长速率;GDP10 表示近十年 GDP 增长速率;GYCZBZ 表示工业产值比重;DSCYBZ 表示第三产业产值比重;CZSR 表示财政收入;RJGDP 表示人均 GDP;CZJCQMB 表示城镇建成区面积比;RKMD 表示人口密度;SWMD 表示大运河河道面积占比;HDWYD 表示河道蜿蜒度;MJCDB 表示面积长度比;JLSZXJL 表示距市中心距离。

图 4 土地生态各状况与影响因子 RDA 排序分析

本研究对各区县的土地生态状况与影响因子所做的 RDA 分析结果显示,第一特征值 F1 占总特征值的 78.7%,第二特征值 F2 占总特征值的 20.2%,F1,F2 累计值占 98.9%,物种和环境因子前两个排序相关系数为 0.980,0.927,模型满足显著性条件,其包含大部分信息,排序效果较好。

其中,GDP、财政收入与土地生态综合状况、污染退化状况、生态结构状况之间的夹角均明显大于  $90^{\circ}$ 度,说明 GDP、财政收入与 3 类状况均呈现明显的负相关;第三产业比重主要与污染退化呈现明显的负相关,表明比重较高的地区,减缓了污染退化的发展;河道蜿蜒度与该 3 类状况呈现较明显的负相关趋势,区域内河道蜿蜒度越大,土地生态状况越差;除此之外,该 3 类状况与人口密度、城镇建成区面积比、人均 GDP 等均呈现较明显的负相关趋势。

5 结论

(1) 本文以京杭大运河江苏段沿线县(市、区)为研究区,建立土地生态综合状况评价体系,对研究区进行全面综合的土地生态状况评价。评价结果表明:

研究区各要素生态状况与综合生态状况都呈现了自北向南的下降趋势,即南部生态状况与北部对比是相对较好的。

(2) 根据研究区土地生态综合状况空间分布,利用冷热点分析模型,从空间集聚性进行空间差异分析,分析结果表明:研究区土地生态呈现较显著的空间差异性,即由北向南逐渐降低、由主城区中心向四周逐渐上升的趋势,存在明显的南北梯度与城乡梯度。

(3) 从全局因子贡献度、经济社会状况、大运河条件三方面入手,利用相关性逐一分析大运河沿线土地生态状况对影响因素的响应程度,并通过冗余分析、典型相关性分析进行综合分析,发现研究区土地生态整体主要受到 GDP 与财政收入的影响,其次受到河道蜿蜒度、年均降水量、植被覆盖度的影响。

(4) 系统而全面的指标体系是土地生态评价结果及相关分析合理与否的关键。但受到资料不充分,相关数据掌握不全面等多方面因素的综合限制,本文所选取的部分指标难以获取,在今后的研究中,会进一步完善这部分数据。

#### 参考文献:

- [1] 张合兵,王世东,刘毅.市域尺度土地生态质量空间分异及其主控因子分析:以焦作市为例[J].干旱地区农业研究,2017,35(5):58-65,72.
- [2] 吴次方,徐保根.土地生态学[M].北京:中国大地出版社,2003.
- [3] 张正华,吴发启,王健,等.土地生态评价研究进展[J].西北林学院学报,2005,20(4):104-107.
- [4] Mao Y, Liu D, Department E, et al. Comprehensive evaluation of land ecological security of nanchang with the PSR model[J]. Journal of Nanchang University, 2014,03:273-277.
- [5] 党国锋,纪树志.基于 GIS 的秦巴山区土地生态敏感性评价:以陇南山区为例[J].中国农学通报,2017,33(7):118-127.
- [6] 谢嗣频.土地生态安全评价指标体系研究:以无锡市为例[D].南京:南京农业大学,2011.
- [7] 卢立峰,严力蛟.县域土地生态安全评价:以四川省丹棱

- 县为例[J].生态与农村环境学报,2013,29(3):295-300.
- [8] 荣月静,张慧,赵显富.基于 MCE-CA 耦合模型的嘉兴市土地利用预测情景下生态敏感性评价[J].农业资源与环境学报,2015,32(4):343-353.
- [9] Yue-Qing X U. Evaluation on ecological security of land resources in towns: A case study of Maotiao river, Guizhou province[J]. Research of Soil & Water Conservation, 2007,14(5):345-348.
- [10] 郭文娟.京杭大运河济宁段文化遗产构成和保护研究[D].济南:山东大学,2014.
- [11] 王晓,韩宝平,丁毅,等.京杭大运河徐州段底泥重金属污染评价[J].能源环境保护,2004,18(3):47-49.
- [12] 夏歆,李云梅,王桥,等.京杭大运河无锡段水质和土地利用的响应关系[J].自然资源学报,2011,26(3):364-372.
- [13] 华常春,高桂枝,陈晨.1997—2008 年京杭大运河扬州段水质状况研究[J].环境科学与技术,2010,33(12):202-205.
- [14] 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.
- [15] 年立辉.土地生态环境质量评价及其影响因素分析[D].南京:南京农业大学,2014.
- [16] 吴滢滢,吴绍华,周生路,等.昆山市土地生态质量空间分异及其对土地利用程度的响应[J].水土保持研究,2015,22(4):201-205.
- [17] 李晓倩,刘学录.土地评价指标权重赋值方法的比较分析[J].甘肃农学报,2012,47(5):129-133.
- [18] Fan C J, Shen S G, Wang S H, 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(1):676-685.
- [19] 张合兵,王世东,刘毅.市域尺度土地生态质量空间分异及其主控因子分析:以焦作市为例[J].干旱地区农业研究,2017,35(5):58-65.
- [20] 邱扬,傅伯杰.黄土丘陵小流域土壤水分时空分异与环境关系的数量分析[J].生态学报,2000,20(5):741-747.
- [21] 吴绍华,周生路,张红富,等.经济发展梯度影响下的江苏农用地土壤重金属含量分布格局[J].地理科学,2008,28(3):412-418.
- [22] 张殷俊,陈曦,谢高地,等.中国细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)污染状况和空间分布[J].资源科学,2015,37(7):1339-1346.