

巢湖水陆交错带土地利用景观格局梯度分析

姚飞¹, 陈龙乾¹, 王秉义^{1,2}, 张婷¹, 周天建¹, 张宇¹

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116; 2. 安徽省土地勘测规划院, 合肥 230601)

摘要:通过解译巢湖水陆交错带 2013 年 Landsat 8 遥感影像,提取土地利用类型信息,运用景观格局指数和地理空间插值法分析研究区的景观格局特征。在景观格局分析基础上选择代表性样带,应用移动缓冲带法对景观梯度变化进行研究,以为巢湖水陆交错带的土地利用、生态环境保护和景观优化提供参考。结果表明:景观破碎度、景观多样性在空间分布及梯度变化上表现出较高的区域分布一致性,即二者的高值、低值分布区相匹配。景观优势度在不同特征的样带内表现出不同的变化特点,其变化不仅受斑块面积的影响,用地布局对其影响更大。景观连通性在各个样带内均较高,各景观类型的斑块内部之间连接紧密。

关键词:水陆交错带; 景观格局; 移动缓冲带法; 巢湖

中图分类号:F301.24; P901

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)03-0214-06

Analysis on Gradient Characteristic of Landscape Pattern of Land Use in Chaohu Lake-Land Ecotone

YAO Fei¹, CHEN Longqian¹, WANG Bingyi^{1,2}, ZHANG Ting¹, ZHOU Tianjian¹, ZHANG Yu¹

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, CUMT, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;

2. Anhui Provincial Institute of Land Surveying and Planning, Hefei 230601, China)

Abstract: We aim to analyze the landscape pattern characteristics by extracting the land use type information by the image data of Land Resources Satellite Landsat 8 in 2013 and using landscape pattern index and geographical spatial interpolation method. Representative samples were selected based on the landscape pattern analysis, and the landscape change was examined by moving buffer method. We hope to provide the references for land use, ecological environment protection and landscape optimization in the study area through this research. The results show that both landscape fragmentation and landscape diversity have the high distribution consistency in spatial distribution and gradient change. That's to say, the values of landscape fragmentation and landscape diversity have the high correlation in geographical space. Landscape dominance shows different change characteristics in each sample zone, which are influenced by the size of landscape patches and land layout has a more effect on it. At last, landscape connectivity in every sample zone is high, showing a close connection between the same types of patches in the study area.

Keywords: land-lake ecotone; landscape pattern; moving buffer method; Chaohu Lake

水陆交错带是生态交错带的主要类型,为陆地生态系统和水生生态系统的过渡区域^[1-2]。水陆交错带通过截留和过滤水分、沉积物等来协调水体周边的物质循环和能量流动,在降低水体对土壤的侵蚀程度、保护水源和改善水质等方面有着重要的作用^[3-4]。景观格局变化是生态环境对人为因素和自然因素共同作用的综合反映,开展土地利用景观格局变化机制研究,可以为理解人与自然环境相互作用以及正确处理二者关系提供重要的途径^[5-6]。在土地利用景观格局

变化研究中,运用移动窗口法进行梯度分析是研究景观生态变化的有效方法,对景观格局进行梯度分析已成功应用于城市化过程对城市景观格局时空变化的影响^[7-8]和城市绿地景观格局的空间特征研究^[9]等。水陆交错带是陆地与水体之间重要的生态过渡区域,在维护区域生态系统健康和稳定性方面起着重要作用^[10],随着社会经济的快速发展和城市化的不断推进,人类活动对水陆交错带的影响和干扰作用逐渐加剧,水陆交错带景观格局变化受到越来越多的关注。

随着 3S 技术的普及,借助 GIS 空间分析技术分析景观数量、斑块和形态的时空演变过程成为水陆交错带景观格局研究的主要方向^[11-12]。

水陆交错带为水陆交界处的两边,直至水体的影响作用消失为止的地带^[13-15]。但是,水陆交界处水体一侧只有水体这一单一的景观类型,在时间和空间上具有单一性,没有研究的意义,而本研究主要是研究土地利用变化对景观格局的影响,所以研究区的范围为水陆交界处陆地一侧。目前对水岸带宽度确定的方法较多,其中以水陆交界处为基准做固定或者可变宽度的缓冲带作为水岸带宽度的方法被广泛应用于相关研究中^[16-17]。但是,对于湖泊水陆交错带宽度的确定方法较少,更多的是借鉴河流水岸带宽度的确定方法,即缓冲带法。由于河流具有较多的支流和一定的流域范围,使得河流水陆交错带内水体与陆地的关系紧密、复杂,需根据支流的具体情况采用不同宽度的缓冲带作为研究范围。不同于河流,湖泊面积较大且为一个相对独立的个体,所以湖泊水陆交错带宽度的确定可以采用固定宽度的缓冲带。

本文通过解译巢湖水陆交错带遥感影像,提取其景观类型信息,计算研究区的景观破碎度、景观多样性、景观连通性和景观优势度指数。运用景观生态学理论、地理空间插值法和移动等距离缓冲带法对研究区景观格局特征和梯度变化进行分析,为巢湖水陆交错带的土地利用、生态环境保护和景观优化提供参考。

1 研究区概况

巢湖处于 16°24'30"—118°00'00"E,30°58'40"—40°11'20"N,位于安徽省中部,临近长江,被合肥市、肥东县、巢湖市、庐江县、肥西县环抱,东西长约 55 km,南北平均宽度约 15 km,湖岸线在丰水期约为 180 km。巢湖水面面积因季节不同而有所差别,湖泊面积为 560~825 km²,是我国五大淡水湖之一。近年来,随着巢湖周边人口的增加和经济的不断发展,巢湖及其周边的生态环境遭受到破坏,影响了巢湖及其周边的可持续发展。

国内对水陆交错带范围划定的相关方法,主要是依据相关水体水污染治理条例和城市总体规划中关于水体保护和流域划分的相关规定,运用缓冲带法来确定水陆交错带的宽度。其中,《合肥市城市总体规划(2006—2020年)》水域生态敏感区分布的相关规定为:一级保护区为水库周围淹没区移民房屋拆迁线以下的库区;二级保护区为一级保护区外延 1 000 m 的区域;三级保护区为二级保护区以外汇水进入水库的流域。同时,《巢湖流域水污染防治条例(2014)》规定:巢湖岸线外延 1 000 m 范围内陆域为一级保护

区;巢湖岸线外延 1 000~3 000 m 为二级保护区。综上所述,并借鉴确定水陆交错带范围的相关研究成果,确定巢湖水陆交错带的宽度为 3 000 m,以此作为研究区域,面积约为 500 km²。

2 数据与方法

2.1 数据来源及处理

遥感数据来自 Landsat 8 陆地资源卫星,传感器名称为 OLI 和 TIRS,影像轨道行列号为 121/38,空间分辨率 30 m,下载自中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云(www.gscloud.cn)。影像的成像时间为 2013 年 9 月 3 日,云量低,图像清晰,能满足影像解译及本次研究的需求。利用 ENVI 4.8 软件对影像进行几何校正、裁剪、增强等预处理后,参考中华人民共和国《土地利用现状分类》(GB/T21010—2007)分类标准和相关研究^[18-20]将土地利用类型分为:耕地(水田、旱地)、林地(有林地、灌木林地、其他林地)、草地(天然牧草地、人工牧草地、其他草地)、水域(河流、湖泊、水塘)、建设用地(工矿用地、住宅用地、交通运输用地)和其他土地(荒地、裸地、沼泽地)6 类。影像选择 7,5,3(RGB)波段组合,采用监督分类法对影像进行解译,影像分类结果的总体精度为 86.42%,Kappa 系数为 0.85,满足研究需求。

2.2 景观指数选取

根据本文研究目的与研究区实际情况,从能表征景观优势度、景观破碎度、景观多样性和景观连通性的景观意义出发,选取最大斑块指数(LPI)、蔓延度指数(CONTAG)、Shannon 多样性指数(SHDI)和斑块结合度指(COHESION)4 个景观指数。具体景观格局指数含义及其生态学意义见文献^[21—24]。

2.3 地理空间插值法

地理空间插值方法分为确定性插值和地统计插值两类,二者的主要区别在于各数据之间有无空间变异性 and 空间相关性,有则使用地统计插值,否则使用确定性差值^[25]。经过对数据进行半变异函数检验,本次研究采用反距离加权插值法。反距离加权(Inverse Distance Weight,简称 IDW)插值法是基于相近、相似的原理,即两个物体离得越近,它们的性质就越相近;反之,离得越远其相似性就越小^[26]。该方法以插值点与样本点之间的距离为权重进行加权平均计算,离插值点越近的样本点赋予的权重值越大。其公式如下:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \quad (1)$$

式中: $\hat{Z}(s_0)$ —— s_0 处的预测值; n ——预测计算过程中要使用的预测点周围的样点的数量; λ_i ——预测计算过程中使用的各样点的权重值,该值随着样点与预

测点之间的距离的增加而减少; $Z(s_i)$ ——在 s_i 处获得的测量值。

2.4 移动等距离缓冲带法

移动窗口法最早是由 whittaker^[27] 提出,后来被广泛应用于调查植被分布及其生态特征、城市景观格局梯度变化和湿地地形梯度变化对物种组成和结构的影响研究等方面^[28-30]。一般而言,移动窗口多为正方形或矩形,按照一定的规则和方向移动窗口进行梯度分析。本文借鉴移动窗口法的基本思想,结合研究区的形状和梯度分析的需要,以等距离缓冲带代替规则的矩形或正方形,将此种改进后的移动窗口法称为移动缓冲带法。在兼顾数据准确性和数据量适中的原则下,通过比较分析不同宽度缓冲带内的景观指数(以 LPI 和 CONTAG 为例)变化情况(图 1)。发现 300 m 宽度的缓冲带既能准确反映景观指数的变化趋势又能将数据量控制在合理的范围内。因此,以巢湖水陆边界线为基准每 300 m 间距为宽度做缓冲带,得到 10 个等宽度且方向一致的窗口,以水陆交界处为基准依次向外移动,每次移动一个窗口,计算每个窗口的景观指数(图 2)。

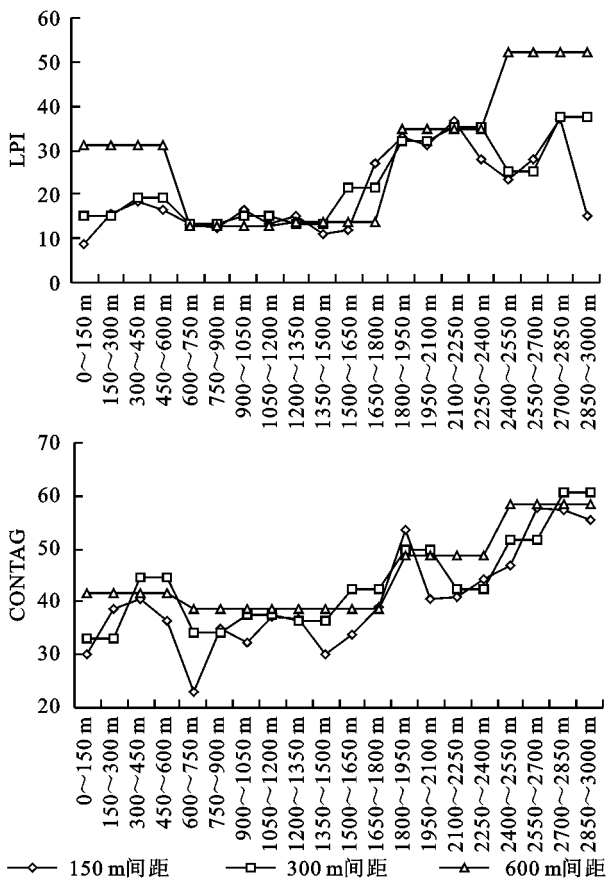


图 1 不同宽度缓冲带内景观指数沿样带的变化

3 结果与分析

3.1 景观格局分布特征

将解译后的矢量数据转换为 GRID 格式,栅格像元

大小为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 。采用大小为 $1.5\text{ km} \times 1.5\text{ km}$ 的地理规则网格覆盖整个研究区域,计算每个网格内的各景观指数,并将所计算的值赋予各个网格的中心点,采用反距离加权插值法获得各个景观指数的空间分布栅格图(图 3)。

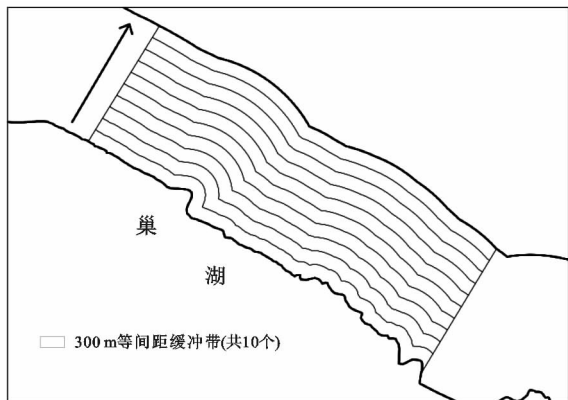


图 2 移动缓冲带示意图

景观破碎度分布状况如图 3A 所示,景观蔓延度指数(CONTAG)的高值区主要分布在肥西县和庐江县以及巢湖东北部地区,其最大值出现在肥西县境内。由影像解译结果可知在肥西县和庐江县境内,景观类型以耕地为主,耕地面积大且连片分布,而巢湖东北部的景观蔓延度指数呈现高、低值交替现象。高值区出现的原因因为建设用地和耕地的连片分布。

景观连通性分布状况如图 3B 所示,斑块结合度指数(COHESION)高值主要出现在肥西县、庐江县,这两个区域耕地为优势景观类型,数量大且连片分布,使得耕地的景观廊道保持完好。低值区主要出现在研究区最东端、巢湖市南部和合肥南部。

景观多样性分布状况如图 3C 所示,香农多样性指数(SHDI)低值区主要出现在肥西县和庐江县的辖区内,尤其在耕地占绝对优势的肥西县,景观类型单一且均质,景观多样性低;香农多样性指数高值出现在合肥市、肥东县和巢湖东南部,这些区域多为平原,地势平坦,开发较早且拥有大量的居住人口,耕地、草地、林地、水域、建设用地等景观类型一应俱全。

景观优势度分布状况如图 3D 所示,最大斑块指数(LPI)的高值区主要分布在肥西县和庐江县以及巢湖东北部地区,以上区域的优势景观类型除最东端的巢湖市区是建设用地外,其他的都是耕地。其余地区为低值区,由于受人类活动影响较大,景观类型多样,且各景观类型相互交错,很少能产生优势景观类型。

3.2 样带景观格局梯度分析

3.2.1 样带选择 根据各景观指数的空间分布特征,选取具有代表性的研究样带 4 个(图 4),为了能够包含所需要的典型区域,研究样带长度为 9 000 m,纵深为研究区的宽度即 3 000 m。其中,样带 1 为景观

破碎度、景观多样性、景观连通性和景观优势度高值与低值较均衡的区域;样带 2 为低景观破碎度、低景观多样性、高景观连通性和低景观优势度区域;样带 3 为高景观破碎度、高景观多样性、低景观优势度和低景观连通性区域;样带 4 为低景观破碎度、低景观

多样性、高景观连通性和高景观优势度区域。上述 4 个样带就景观破碎度、景观多样性、景观优势度和景观连通性而言可概括为:样带 1 为高低均匀区;样带 2 为“低—低—高一低”区;样带 3 为“高一高一低—低”区;样带 4 为“低—低—高一高”区。

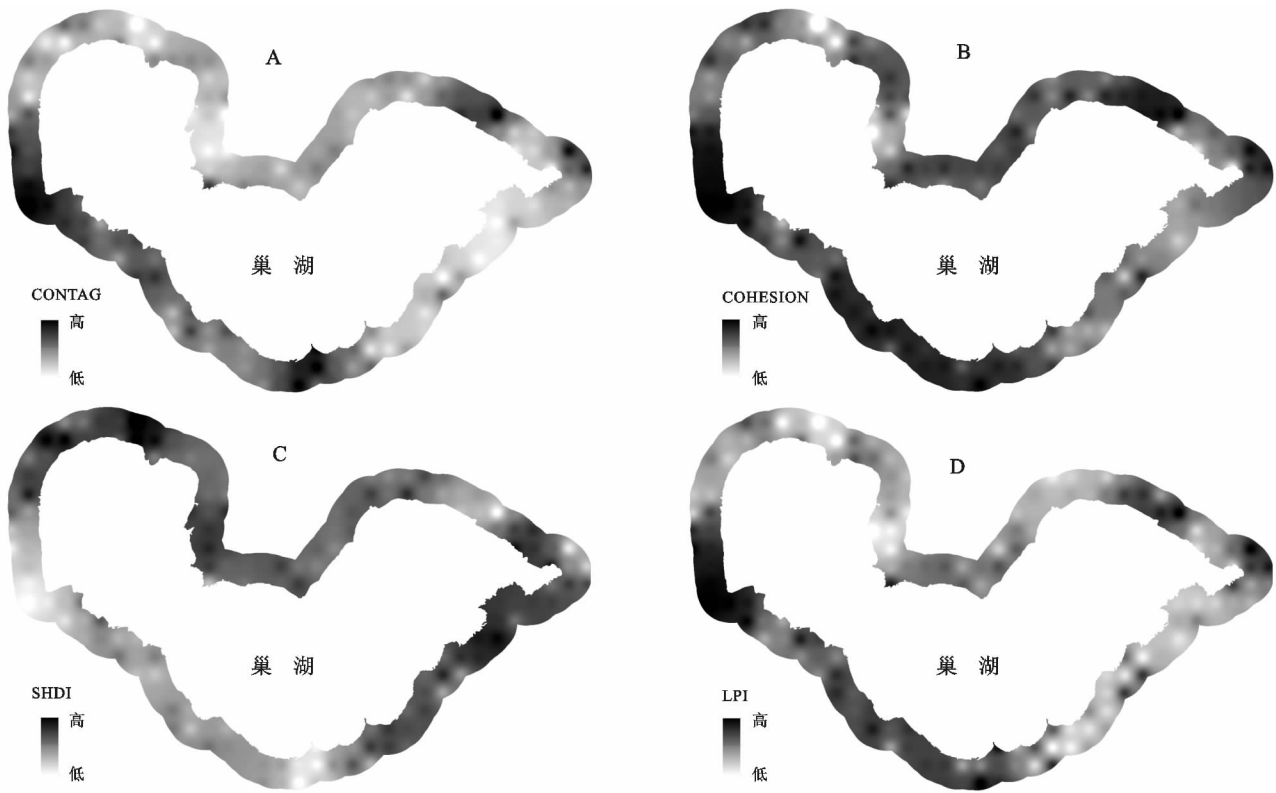


图 3 研究区景观格局分布

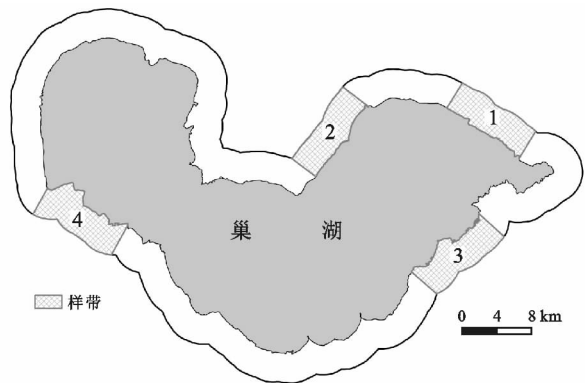


图 4 研究区样带

3.2.2 梯度分析 以巢湖水陆边界为基准,每 300 m 间距缓冲带为一个窗口,在各样带进行梯度分析。由图 5 可以看出,斑块结合度指数一直处在 90 以上的高值水平,且变化小,景观连通性高,表明景观中同一类型的斑块之间连接紧密,斑块廊道完整程度高。因此对样带的梯度分析主要从景观破碎度、景观多样性和景观优势度 3 个方面进行。

样带 1 上,景观破碎度、景观多样性和景观优势度指数在距离巢湖水陆边界 0~1 200 m 区段内变化显著,CONTAG 值由 33.16 升至 63.10,SHDI 值由

1.42 下降至 0.82,景观破碎度和景观多样性均下降;LPI 值由 15.30% 升至 58.50%,景观优势度大幅增加。该区段内,耕地和建设用地为主要的景观类型,分别占比约在 63%和 33%,景观类型较单一,使得景观破碎度和景观多样性持续下降,景观优势度大幅增加。在 1 200~3 000 m 区段内,景观破碎度和景观多样基本稳定,平均变化幅度小于 5%。而 LPI 值在 2 100~2 400 m 区段下降了约 29%,又回到小于 30%的低值水平,景观优势度下降。主要是因为耕地占比下降,建设用地占比增加。而增加的建设用地多分散分布,割裂了耕地,使最大斑块指数较大幅度下降。

样带 2 上,LPI 在该样带虽有起伏,但是 LPI 值始终处于 30%以下,表明在该样带内景观优势度低,即各土地利用类型的单个斑块面积较小且分布分散。在样带 2 内,CONTAG 均值为 49.95,平均变化幅度约 1.18%,SHDI 均值为 1.03,平均变化幅度约 0.79%,表明景观破碎度和景观多样性指数均处在平稳的状态,景观破碎度和景观多样性均较高。结合影像解译结果可以发现,该样带内耕地为主要土地利用类型,面积约占 80%,但是有多条交通干道横贯其中,人口居住点分布分散,且有较多的水塘散布其中,

土地利用类型多样,不同的土地利用类型相互交错、分割。以上原因,导致了该样带的景观破碎度和景观多样性较高,景观优势度较低。

样带 3 上,随着距离巢湖水陆边界距离的增加,CONTAG 值和 LPI 值呈现增长的态势,而 SHDI 则是逐渐下降的态势。LPI 虽整体呈现增长趋势,但是最大值仍未超过 40%,景观优势度一直处在低水平。景观破碎程度和景观多样性虽有起伏,但总体呈下降趋势,二者的下降幅度较为接近,分别为 46%和 41%。其中,SHDI 在 900~1 800 m 区段的值为 1.34~1.39,景观多样性较高,该区段内耕地和林地的占比接近,分别为 35.61%和 37.92%,建设用地约占 23.32%。以上 3 种主要的土地利用类型相互交错分布,互相分割,使得景观多样性丰富。CONTAG 值在 2 400~2 700 m 和 2 700~3 000 m 区段内较高,为 51.89,60.77,说明在这两个区段内景观破碎度较低。这两个区段的土地利用类型以林地为主,占比分别为 57.62%和 89.80%,林地不仅面

积大且分布于整个区段内,景观类型连通性较好,使得景观破碎度较低。LPI 在 2 400~2 700 m 区段下降明显,是因为分散分布的建设用地、耕地、草地和水域将贯穿该区段的林地分割开来,使得景观优势度出现下降。

样带 4 上,以耕地为主,约占 95%,景观类型简单。CONTAG 均值为 68.11,处在较高值,而 SHDI 均值为 0.70,处在较低值,景观破碎度和景观多样性均较低。但是在 300~600 m 和 1 500~1 800 m 区段内二者变化显著。在 300~600 m 区段耕地占了绝大部分,景观类型单一,景观破碎度和景观多样性较低;在 1 500~1 800 m 区段内 96.54%为耕地,其他用地类型面积较之前区段进一步减少,使景观破碎度和景观多样性下降。LPI 值总体偏低,均值约为 33.86%,最大值仅为 51.18%。是因为在该样带内虽然耕地占了绝大部分,但是河流、道路的方向与缓冲带相垂直,割断了本应连续分布的耕地,同时还有其他面积较小的土地利用类型分散其中,使得景观优势度下降。

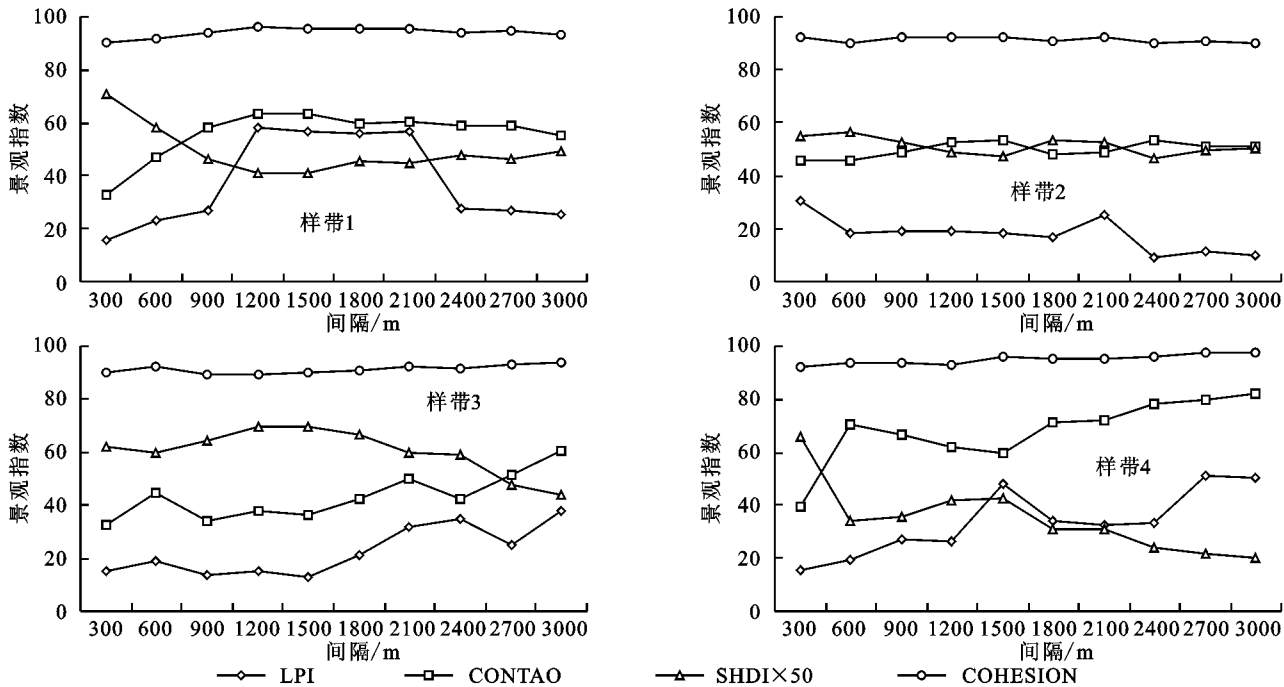


图 5 研究区各样带景观指数的梯度变化

4 结论与讨论

文章通过地理规则网格和 GIS 空间插值法,分析了所选样带的景观空间分布,其中景观破碎程度和景观多样性分布区域具有一致性,二者的变化曲线基本以 Y 轴数值 50 所处直线对称;景观优势度较低,人类活动对研究区景观的影响作用较显著。低破碎度区域的土地利用类型多以耕地为主,耕地不仅面积大且分布连续,景观类型比较单一,景观多样性也较低,这些区域多是主要的粮食产区,为保护耕地而实行了严格的耕地保护政策和制度。高破碎度区域各景观类型均有分布,各景观类型相互交错,这与区域

内人口相对集中、生产生活用地较多密切相关,使得景观受人类活动影响作用显著。虽然有些区域内有面积较大且较为单一的土地利用类型,但是不合理的用地布局依然会降低景观优势度,因此在保护耕地和合理控制建设用地规模的前提下,如何合理布局土地利用结构以改善景观格局值得进一步研究。

由于巢湖的湖岸线很长,大约有 180 km,而且研究区为一个闭合的环形,情况较为复杂,如果对整个研究区直接进行梯度分析,太过笼统,说明不了具体问题。因此,根据各景观指数的空间分布特征,选取具有代表性的 4 个样带进行梯度分析,不同特征样带

的景观指数梯度变化具有鲜明的个体特征。通过对4个不同样带的分析发现,除了景观连通性在各样带内基本没有变化之外,不同的样带设计会影响景观指数的梯度变化,尤其是景观优势度的变化在各个样带内表现出不同的特征,且差异较大。对于各个结果之间差异的原因不仅要考虑人类活动对土地利用的影响,还要从地形等自然因素以及规划和政策等社会因素综合考虑,这也有待于进一步深入研究。

通过景观格局分布和样带梯度分析,揭示了研究区景观格局变化的基本特征,不同特征的景观变化反映出不同的土地利用状况,进而揭示了人类活动对景观格局的影响方式与程度。由于本研究主要是在水平维度上对景观格局进行梯度分析,同时受制于遥感影像的分辨率较低和景观动态变化的自身特点,虽然从总体上分析了研究区的景观格局特征,但无法反映更精细的景观变化和梯度变化。因此,进一步的研究将会集中在选用高精度的遥感影像、引入垂直维度的景观变化分析、增加更多的社会经济因素和采用动态分析的方法来分析景观格局的变化特征,进而对景观格局进行优化。

参考文献:

- [1] 吴爱琴,邓焕广,张菊,等.水岸带土壤生态环境与重金属污染研究进展[J].中国农学通报,2015,31(6):180-186.
- [2] 岳隽,王仰麟.国内外河岸带研究的进展与展望[J].地理科学进展,2005,24(5):33-40.
- [3] 邓红兵,王青春,王庆礼,等.河岸植被缓冲带与河岸带管理[J].应用生态学报,2001,12(6):951-954.
- [4] 李扬,王冬梅,信忠保.漓江水陆交错带植被与土壤空间分异规律[J].农业工程学报,2013,29(6):121-128.
- [5] 王为东,王亮,聂大刚,等.白洋淀芦苇型水陆交错带水化学动态及其净化功能研究[J].生态环境学报,2010,19(3):537-543.
- [6] 王传辉,郭振亚,高超,等.基于遥感的巢湖流域景观格局变化研究[J].长江流域资源与环境,2013,22(12):1586-1592.
- [7] 马冲亚,刘吉平,赵丹丹.霍林河流域土地利用景观格局变化及热点地区[J].浙江农业科学,2014(8):1201-1205.
- [8] 邵燕芳,舒清杰,张艳.基于尺度变换的碧塔海自然保护区景观格局分析[J].西南林业大学学报,2014,34(2):55-60.
- [9] Bürgi M, Russell E W B. Integrative methods to study landscape changes[J]. Land Use Policy, 2001, 18(1): 9-16.
- [10] 年雁云,王晓利,陈璐.1930—2010年额济纳三角洲土地利用景观格局变化[J].应用生态学报,2015,26(3):777-785.
- [11] Xie Y, Yu M, Bai Y, et al. Ecological analysis of an emerging urban landscape pattern—desakota: a case study in Suzhou, China[J]. Landscape Ecology, 2006, 21(8):1297-1309.
- [12] 范庆亚,吴国平,马庆申,等.基于GIS的临沂市土地利用景观格局梯度分析[J].水土保持研究,2013,20(6):230-234.
- [13] 刘琦,刘世梁,赵清贺,等.基于移动窗口法的水电开发影响下景观格局梯度分析[J].山地学报,2012,30(5):628-635.
- [14] 唐玲,谭丽,何兴元,等.基于Quick-bird卫星影像的沈阳城市绿地景观格局的空间幅度效应[J].资源科学,2008,30(9):1415-1420.
- [15] 黄金良,林杰,张明峰,等.基于梯度分析的福建典型沿海港湾区域景观格局研究[J].资源科学,2008,30(11):1760-1767.
- [16] 毕晓丽,周睿,刘丽娟,等.泾河沿岸景观格局梯度变化及驱动力分析[J].生态学报,2005,25(5):1041-1047.
- [17] 刘昕,国庆喜.基于移动窗口法的中国东北地区景观格局[J].应用生态学报,2009,20(6):1415-1422.
- [18] 陈吉泉.河岸植被特征及其在生态系统和景观中的应用[J].生态学报,1996,7(4):439-448.
- [19] 杨胜天,王雪蕾,刘昌明,等.岸边带生态系统研究进展[J].环境科学学报,2007,27(6):895-905.
- [20] 夏继红.生态河岸带综合评价理论及应用研究[D].南京:河海大学,2005.
- [21] 熊建新,陈端吕,董明辉.水陆生态交错带的复杂性分析:以东洞庭湖区为例[J].湖南文理学院学报:社会科学版.2008,33(2):101-113.
- [22] Apan A A, Raine S R, Paterson M S. Mapping and analysis of changes in the riparian landscape structure of the Lockyer Valley catchment, Queensland, Australia [J]. Landscape and Urban Planning, 2002, 59(1): 43-57.
- [23] 瞿晓怡.苏州市水陆交错带景观格局的动态分析(1995—2010)[D].江苏苏州:苏州大学,2012.
- [24] 韩凌云.苏州市水陆交错带景观格局演变研究[D].南京:南京林业大学,2012.
- [25] 朱会义,刘述林,贾绍凤.自然地理要素空间插值的几个问题[J].地理研究,2004,23(4):425-432.
- [26] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析教程[M].北京:科学出版社,2006.
- [27] Wardle D A. Communities and Ecosystems[C]. New Jersey, USA: Princeton University Press, 1975.
- [28] 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.
- [29] Kröger R. Landscape hydrogeomorphic conditions determine structure and species composition of an ephemeral floodplain wetland [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(5):280-287.
- [30] 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.