DOI: 10.5846/stxb201307191915
张东菊,左平,邹欣庆.基于加权 Ripley's K-function 的多尺度景观格局分析——以江苏盐城滨海湿地为例.生态学报,2015,35(8):2703-2711.
Zhang D J, Zuo P, Zou X Q.Multi-scale analysis of landscape characteristics in coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu, based on the weighted Ripley's K-function method.Acta Ecologica Sinica,2015,35(8):2703-2711.

基于加权 Ripley's K-function 的多尺度景观格局分析
——以江苏盐城滨海湿地为例

张东菊[1,2],左 平[1,2],邹欣庆[1,2,*]
1 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210046
2 南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室, 南京 210046

摘要:以 1987,1992,1997,2002,2007 年的遥感影像为例,首次尝试使用加权 Ripley's K-function 的多尺度格局分析方法,计算了 20 年来景观异质性在江苏盐城滨海湿地的时间变化和空间分布趋势。通过对研究区的样带划分以及景观类型的点状化处理,建立滨海湿地样带图层和 1987—2007 年间各类型景观的点格局数据库,从而分析滨海湿地不同类型景观的空间聚集特征变化。基于加权 Ripley's K-function 的计算表明,在各级空间尺度和时间变化上,各类型湿地的斑块都呈现出空间聚集分布状态,且 1987 年以来,不同湿地类型的聚集空间特征尺度和空间分布强度均出现了大幅的增减变化,除互花米草滩之外的自然湿地的聚集空间特征尺度和强度都有明显下降甚至少到无法被检测到,而人工湿地却呈现聚集特征尺度和强度的双增长,且该聚集程度有逐渐增强的趋势。分析表明,既考虑样点的空间位置信息又考虑样点分布范围的加权 Ripley's K-function 方法能很好地表征湿地景观在多尺度上的变异,且与传统空间景观指数等分析方法的结论在一定程度上保持一致。

关键词:盐城滨海湿地;景观空间格局;多尺度空间聚集分析;加权 Ripley's K-function;空间特征尺度;空间分布强度

Multi-scale analysis of landscape characteristics in coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu, based on the weighted Ripley's K-function method

ZHANG Dongju[1,2], ZUO Ping[1,2], ZOU Xinqing[1,2,*]
1 *The School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing* 210046, *China*
2 *Ministry Education Key Laboratory for Coast and Island, Nanjing University, Nanjing* 210046, *China*

Abstract: Based on remote sensing images from 1987, 1992, 1997, 2002, and 2007, the present study used the weighted Ripley's K-function multi-scale analysis method to calculate temporal changes and trends in the spatial distribution (i.e., heterogeneity) of coastal wetland landscape patterns over 20 years in Yancheng, Jiangsu. To analyze changes in the spatial clustering characteristics of different wetland landscape types, we divided the area into small belt transects and created a point pattern database for changing wetland landscapes from 1987 to 2007. The results obtained based on weighted Ripley's K-function analyses demonstrate that, over different spatial and temporal scales, all wetland landscapes presented an aggregated distribution. Moreover, for different wetland types, most patch radius and crowding indices indicate an obvious increase or decrease since 1987. Except for *Spartina alterniflora*, the aggregated patch radius and crowding of all other natural wetlands dropped sharply or even became undetectable, whereas both the aggregated patch radius and crowding indices in the constructed wetland increased rapidly, at higher rates over time. Our analyses revealed that the weighted Ripley's K-function method, which considers both the location and attributes of point samples, can clearly reveal spatial

基金项目:科技部重点支撑项目(2013CB956503);国家海洋局 2010 年海洋公益性行业科研专项 (201005006)资助
收稿日期:2013-07-19; **修订日期**:2014-10-12

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zouxq@nju.edu.cn

variations of landscapes at multiple scales. These novel results also agree with those obtained using other conventional analysis methods, such as landscape metrics. Additionally, in future, a deeper analysis of the mechanisms controlling such landscapes at various spatial scales will be conducted to provide quantitative implications for wetland management planning. Specifically, after the wetland polygon data were processed in ArcGIS, we transferred and calculated the spatial indices (patch radius and crowding) in the Matlab R2011a. It was found that, to some extent, the weighted Ripley's K-function could mitigate the occurrence of two false results that were caused by the traditional Ripley's K-function. First, in conventional analysis, large wetland areas are more likely to produce limited numbers of point samples when they are exported directly into a dimensionless point from a polygon; this has resulted in the spatial distribution of some wetlands being interpreted as random or dispersed, even when they exhibit obvious aggregations in the GIS layers. Conversely, the weighted Ripley's K-function takes the dimensions of such points into consideration; accordingly, it is able to reflect changes in the area of study objects in continuous space, thus allowing characterization of changes in the spatial clustering of wetlands at multiple scales. In this study, the extraction and spatial distribution of wetlands distributed in a large area proved the validity of the improved method. Second, traditional methods have tended to produce "false" conclusions or overestimate aggregation when applied to the most seriously fragmented wetlands, which typically generate numerous point samples. In contrast, sample areas in the improved method are weighted, allowing spatial distributions to be represented more accurately. For example, in the present study, we were able to avoid the "over-aggregation" of the spatial distribution of *Aeluropus littoralis* that may have been produced by traditional methods. Thus, we were able to reveal actual changes in the distribution of *Aeluropus littoralis*, demonstrating that it shrunk gradually (and almost disappeared) at various scales owing to crowding.

Key Words: Yancheng coastal wetland; landscape patterns; multi-scale spatial cluster analysis; weighted Ripley's K-function; patch radius; crowding

空间异质性、生态学过程和尺度的关系一直以来都是景观生态学研究的热门命题和重要研究内容,而景观格局是景观空间异质性的外在表现,也是各种生态过程在不同大小空间尺度上相互作用的结果[1-4],因此,对景观格局-生态过程关系的全面认知和解析理应基于不同的研究尺度。目前针对盐城滨海湿地的景观格局研究多基于单一尺度,一定程度上限制了我们在多尺度空间上对景观类型及其生态过程的理解和分析,因此同时在多尺度上开展该区域景观的空间分布特征研究,成为理解该区域格局和生态过程相互作用的关键和重点[5-6]。已有文献[7-10]对盐城湿地景观类型的变化分析多采用景观格局指数,转移矩阵(优势转移过程及其贡献率)以及土地利用动态模型等方法,在这其中,尤以景观指数法应用最多。然而,这些基于空间非连续性数据的传统景观指数法大都基于单一尺度,且众多景观指数在表征景观格局特征方面具有片面性,在指示生态学过程方面具有局限性。在不改变源数据空间尺度的前提下,不能同时在宏观和微观等连续尺度上揭示景观格局的特征和生态过程。因此有必要应用多尺度景观格局分析方法来剖析景观格局与生态过程关系[11]。当前,多尺度的研究方法和理念被广泛应用到林地、草地以及海洋等生态系统的种群分布格局研究上[12-21],实践证明其可以有效地揭示出研究物种在多个尺度上的生态学特性和过程。

Ripley's K-function 恰恰是一种可以在多尺度上分析研究对象空间分布格局的有效手段,其提供的空间特征尺度和空间分布强度两个指数可以很好地表征景观类型的斑块大小和空间聚集程度,具有很强的生态学指示意义,且在景观格局上的研究上已显示出简单,高效等诸多优点[22-25]。Ripley's K-function 是一种基于点状数据的格局分析方法,因此在计算之前需要将各种格式的数据进行点状处理。考虑到所涉及的研究区域及研究对象均较小,相关文献大多采取将研究对象直接点状化的方式进行空间格局计算,而忽略研究对象的分布范围等属性。在景观空间分析中,传统的 Ripley's K-function 主要是在 ArcGIS 中进行以下两种方式的点状化处理:一是将土地利用类型与随机点结合。高凯等[22]利用 create random points,通过生成的随机点跟矢量图

叠置分析,将土地的利用类型赋值给随机点,这些赋值后的随机样点将代表各景观类型进行点格局计算。笔者认为这种方法与数据源本身的提取精度关系较大,随机点的数量较难控制,该方法随机性稍显大些。例如,对某些大面积分布的景观来说,其在地理信息系统图层中虽然有明显的聚集特征,但仅靠生成的几个随机点会将聚集性弱化甚至导致最终无法被检测出来;二是将面状格式的土地利用或者景观数据直接转为点状数据。王金亮等[23]利用 Feature to Point 命令,将林地斑块面状数据的质心转换为点状数据,通过将点状数据与生态屏障区图层叠加,得到研究区林地景观点格局样点数据。然而,对于某些零星分布的景观来说,只考虑样点质心位置不考虑样点本身的分布范围等属性值,容易造成局部"伪聚集性或过聚集"现象。

鉴于本研究所涉及的研究对象及其所在区域的空间尺度均相对较大,因此不能将景观类型的空间分布范围属性直接忽略,为弥补传统 Ripley′s K-function 方法在景观类型点状化过程中的粗糙和随机性等缺陷,本文考虑将研究对象的面积属性以权重的方式纳入到空间分布类型的计算中,并以盐城滨海湿地为例,对其格局 20 年间的变化进行了分析。首先,将整个研究区划分为宽度一致长度不等的多个连续样带,以达到对原始面状数据进行简化的目的;其次,提取各湿地类型的空间位置(某类型湿地所在样带的质心坐标)和分布范围属性值(某类型湿地在样带内的分布面积);然后,将所得信息应用到加权 Ripley′s K-function 方法中,从而避免了仅考虑样点空间位置信息而造成的"伪分散"(尤其是针对大面积块状或者带状分布的湿地类型)或者"伪聚集"(特别是对破碎化严重,零星分布的湿地类型)等现象。

1　研究区与研究方法

1.1　研究区概况

本研究区域的地理范围包括盐城沿海响水、滨海、射阳、大丰、东台 5 个县(市)的潮间带滩涂、港河口、部分潮下带以及由堤内的耕作农田向堤外滩涂过渡区的芦苇鱼塘、林地、盐场、撂荒地等[7](图 1)。该区域生物多样性异常丰富,是东北亚-澳大利亚候鸟迁徙的重要通道和停歇地,该区域设立的江苏盐城珍禽自然保护区,是全球最大的丹顶鹤越冬基地,也是亚洲最大的沿海滩涂湿地型保护区[26]。然而,随着滩涂的大规模围垦、资源的过度开发利用以及环境污染,该区域也面临着景观破碎化,生态功能退化等一系列问题。因此对该区域湿地景观的空间分布特征及其变化的研究具有较强的现实意义,可以为开展湿地生物多样性监测保护及恢复提供更详细的定量指标。

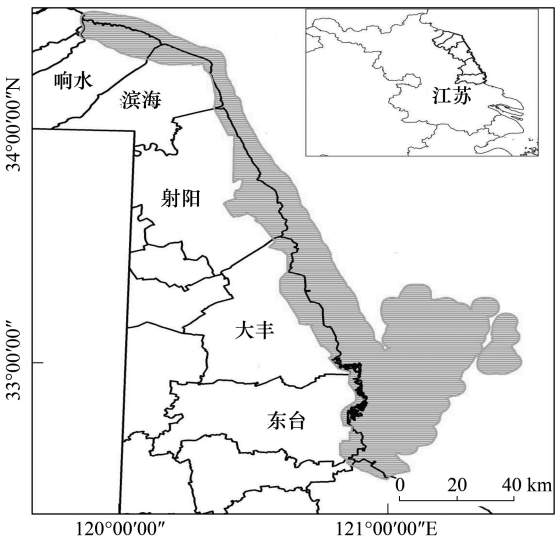

图 1　研究区位置及其样带划分图

Fig.1　Location of study area and belt transects map

研究区内的自然湿地(从植被类型角度阐述)由海到陆的演替层次十分明显,且部分地区仍保留着海岸带原生植被演替序列,过渡的类型依次为:光滩或泥滩(无植被)-米草滩(*Spartina alterniflora*,1982 年形成最大的互花米草盐沼生态系统[27])-碱蓬滩(*Suaeda glauca*)-獐茅滩(*Aeluropus littoralis*)-白茅草滩(*Rhizoma Imperatae*)或芦苇滩(*Phragmites communis*)。

结合当地滩涂开发利用现状和规划方案,本文选取 20 年来在空间分布尺度和强度上变化幅度较大的几大湿地类型为重点研究对象。具体来说,自然景观类型的研究主要集中于獐茅滩、芦苇滩、碱蓬滩、互花米草滩;人工湿地类型主要包括农业用地、水产养殖塘和盐田。

1.2　数据来源及处理

本研究以覆盖该区域的 1987、1992、1997、2002 和 2007 年的 Landsat 影像(分辨率为 30 m)作为基本信息

源,并选用 TM5,TM4 和 TM3 三个波段进行标准假彩色合成,结合目视判读和 ERDAS 9.1 中的非监督分类模块,对典型的湿地景观类型进行初步判断和解译,再通过实地调查验证提高结果精度,进而最终识别出主要的自然湿地景观类型和人工湿地景观类型[7]。分类结束后,提取的景观类型的结果图件导入到 ArcGIS10.0 软件中进行矢量化和各类空间分析,建立 1987—2007 年间各湿地类型的空间格局数据。同时,为了满足 Ripley′s K-function 对数据格式的要求,首先,对原有的面状数据进行了条带化概括处理(将各类零散分布且面积不大的湿地类型统一纳入到样带内),将研究区从北到南划分为 260 个样带(图 1),其中,样带的宽度为 1 km,长度不等(切割于实际的边界范围)。然后,将各湿地景观类型数据与样带图层进行叠加,得到研究区各个景观类型的样带分布数据,与此同时,分别统计 1987—2007 年落入各样带内的各湿地类型的面积(z)。在此基础上,将各个样带进行点状化处理,提取各样带的质心坐标(x, y)和各湿地类型在样带内的分布范围即面积(z),为接下来的加权 Ripley′s K-function 运算提供空间位置信息和加权变量。

1.3 加权 Ripley′s K-function 方法

Ripley′s K-function 是点格局分析的一种重要方法,它可以反映点格局(要素质心)在整个空间幅度范围内的变化特征,能够检测研究对象的空间分布特征在邻域大小发生变化时是如何变化的[28-29]。本文在传统 Ripley′s K-function 计算公式(1)的基础上,采用改进的加权 Ripley′s K-function[30]来分析各湿地类型的空间分布特征,其计算公式如式(2)所示:

$$K(d) = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j\neq i} I(d_{ij} \leqslant d)}{\lambda} \tag{1}$$

$$K_{mm}(d) = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j\neq i} m_i m_j I(d_{ij} \leqslant d)}{\lambda\mu^2} \tag{2}$$

式中,点的位置信息由各湿地类型所在样带的质心点的坐标来表征。d 为空间尺度,d_{ij}为研究对象在质心点 i 与质心点 j 之间的距离,且 $i,j=1,2,3,\cdots,n(i\neq j)$;$n$ 为研究对象的个数;当 $d_{ij}\leqslant d$ 时,$I=1$;当 $d_{ij}>d$ 时,$I=0$;λ 为假设研究对象在研究区内呈均匀分布时的空间密度值。由公式(1)可知,传统方法根据位置信息统计出不同距离尺度内研究对象的数目,进而判读该研究对象的空间分布状态。m_i与 m_j为权重变量,是研究对象在质心点 i 和质心点 j 上所关联的属性值-即该研究对象的分布范围(z),μ 是研究对象所关联的属性值的均值。为使期望值线性化并保持方差稳定[22],同时也便于直观地理解现实中研究对象的空间分布格局,Besag[31]重新标准化方程构造了指标 $L_{mm}(d)$:

$$L_{mm}(d) = \sqrt{\frac{K_{mm}(d)}{\pi}} - d \tag{3}$$

式中,假设样点呈完全空间随机分布(CSR),$L_{mm}(d)$的期望为 0。当 $L_{mm}(d)$大于 0,说明景观类型呈聚集分布;$L_{mm}(d)$小于 0,说明景观类型呈现分散分布的趋势;$L_{mm}(d)$等于 0,则表示景观类型呈随机分布。

本文的加权 Ripley′s K-function 计算是在 Matlab R2011a 软件中运行,以样带中心点的经度、纬度和各湿地类型所覆盖的面积分别作为空间位置变量和加权变量,分别计算 1987—2007 年各湿地类型的空间特征尺度和空间分布强度。同时,指数偏离随机性的显著性检验采用蒙特卡罗模拟法(M-C),置信度取 99%。运算结束后,首先根据模拟法检验所生成的上、下包迹线曲线判断各湿地的空间分布类型:若景观类型的 $L_{mm}(d)$值大于上包迹线,则该湿地类型呈现显著聚集分布;若 $L_{mm}(d)$值小于下包迹线,则对应的湿地类型呈现分散分布;若 $L_{mm}(d)$值落入上下包迹线区间范围内,说明相关湿地类型的空间分布是完全随机分布。其次,当景观类型呈现聚集的空间分布状态时,提取两个重要的空间分布特征数:空间分布强度和空间特征尺度。空间分布强度,即某一类型的湿地在空间上聚集的规模,是由 $L_{mm}(d)$曲线中的第一个有效峰值来度量,峰值越高,所对应的湿地类型在空间上的聚集强度或规模就越大;空间特征尺度,是 $L_{mm}(d)$曲线中第 1 个有效峰值所对

应的 d 值,d 值愈大,所计算的湿地类型在空间上的聚集尺度越大。

2　结果分析

2.1　湿地景观的面积及其样带变化分析

从盐城滨海湿地景观面积的百分比变化来看(表 1)[7],自然湿地仍是盐城滨海湿地中的主要景观类型,但部分典型自然湿地的总面积和比重都有明显下降的趋势,且景观中的植被群落类型多样性明显减少(如獐茅滩湿地在 2007 年影像中已经基本检测不到),并有逐渐向单一优势种群过渡的趋势(在盐城滨海滩涂,互花米草已取代碱蓬成为先锋植物群落并迅速扩散),相对而言,人工湿地的面积和比重却有着显著上升的趋势。图 2 中自然湿地和人工湿地的面积在大部分样带内的增减量变化(增减量=2007 年的自然或者人工湿地面积-1987 年的湿地面积)更好地印证了二者存在着此消彼长的关系。具体来说,176 个样带中的自然湿地处于减量区(以 0 值为分界线,值大于 0 代表该类型湿地有增量;小于 0 代表该湿地类型有减量),193 个样带中的人工湿地位于增量区。因篇幅原因,各个湿地类型的面积增减量未在此列出。

表 1　1987—2007 研究区各湿地景观类型所占面积的百分比[7]

Table1　Area percentages of wetland Landscapes in the study area from 1987 to 2007[7]

湿地类型 Wetland Landscapes	1987	1992	1997	2002	2007
獐茅滩 *Aeluropus littoralis*/%	5.64	4.78	2.91	1.06	0.00
芦苇滩 *Phragmites communis*/%	2.33	2.85	2.34	2.13	2.33
碱蓬滩 *Suaeda glauca*/%	6.66	5.76	5.19	3.49	2.85
互花米草滩 *Spartina alterniflora*/%	0.01	0.21	0.96	2.04	2.12
水产养殖塘 Aquacultural ponds/%	2.78	2.71	3.96	9.14	11.23
盐田 Salt fields/%	6.53	6.67	6.22	5.69	5.18
农业用地 Agricultural land/%	3.57	5.45	7.44	7.47	11.55
其它 Others/%	72.03	71.63	71.63	70.66	66.50

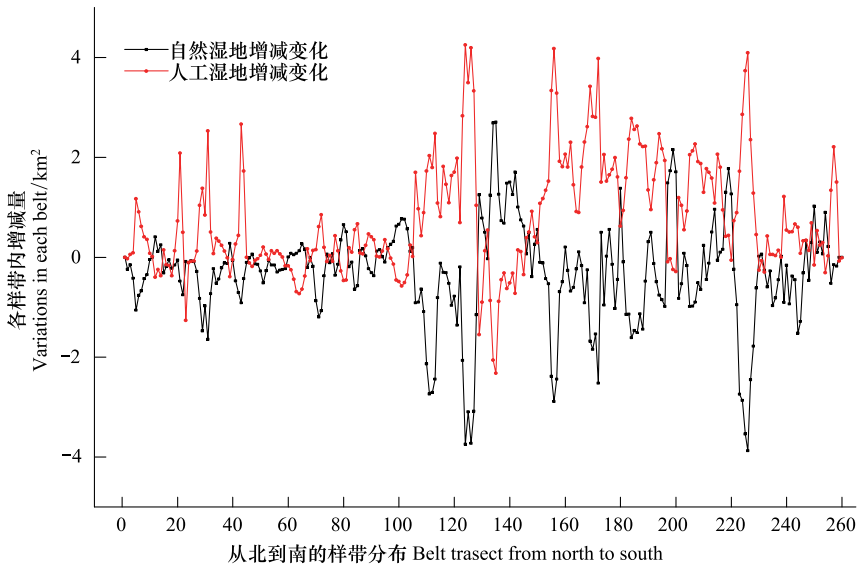

图 2　1987—2007 年研究区湿地在各样带内的面积变化量

Fig.2　Variations of wetland area in each belt of the study area from 1987 to 2007

2.2　基于加权 Ripley′s K-function 的湿地景观格局变化分析

由图 3 和表 2 可以看出,1987—2007 年间,各年份各湿地景观的 $L_{mm}(d)$ 曲线基本都在上包迹线以上,表明在设定的多个不同空间尺度上,无论何种类型的湿地,均表现出显著的聚集分布特征。自然湿地方面,碱蓬

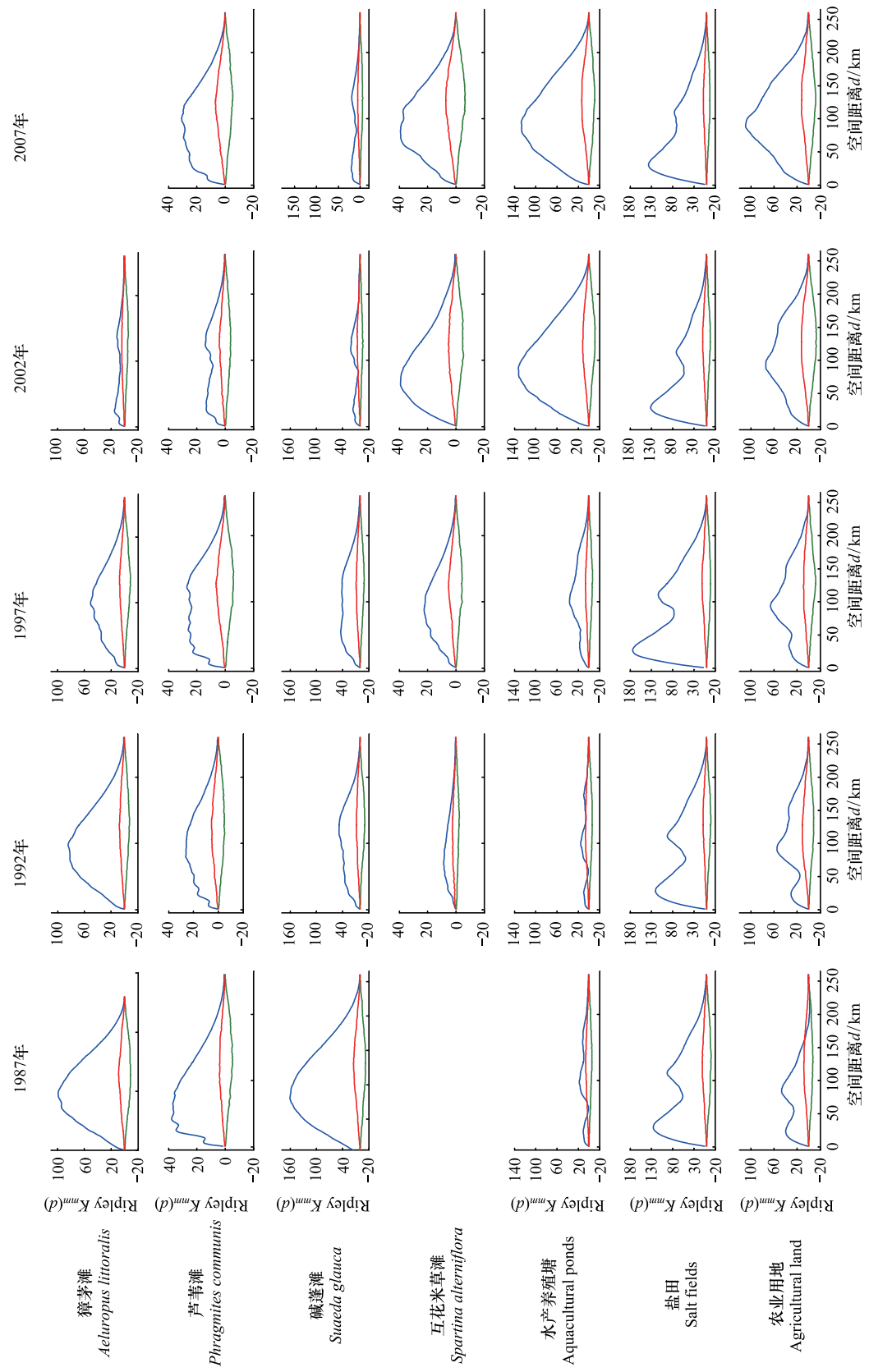

图 3 1987—2007年各湿地景观类型的 Ripley's K-function 指数变化图

Fig. 3 Ripley's K-function indexes changes of different wetland landscapes from 1987 to 2007

蓝色线: 实际值; 红色线: 上包迹线; 绿色线: 下包迹线

滩和獐茅滩的空间特征尺度和空间分布强度都有明显的下降趋势,从大范围的高度聚集向多个尺度的局部小范围聚集分布发展,獐茅滩尤甚。碱蓬滩的空间特征尺度从 1987 年的 81 km 下降到 2007 年的 11 km,与此同时,其空间分布强度也从 160.65 下降到 16.93,曲线中出现更多的小峰值,说明研究期间碱蓬滩从开始的较大斑块转变为两个尺度上的较小斑块。獐茅滩曲线基本呈现出与碱蓬滩一致的变化趋势,其空间特征尺度也不断萎缩,从 1987 年的 75 km 到 2007 年在遥感影像中消失,且其空间聚集强度也不断下降,从 94.35 到基本消失。芦苇滩的空间特征尺度在 1987—1997 期间变化不大,基本在 8 km 左右,到了 2002 年尺度上升为 26 km,到 2007 年再次下降为 12 km;与此同时,空间分布强度表现出先稳步下降后于 2007 年显著上升的趋势,但相对于 1987 年仍有减弱,从 1987 年的 15.39 减小为 2007 年的 12.61,由此可判断芦苇湿地的空间分布形态除了在 2002 年出现较大波动以外,其他年份的聚集尺度和规模基本保持稳定。互花米草自 1992 年引进以来,呈现不断蔓延扩散的趋势,甚至一度被作为入侵种进行研究,与其他自然湿地的空间分布变化相反,该湿地类型是自然湿地中唯一聚集性和分布规模逐渐增强的类型,其空间特征尺度从 1992 年的 32 km 上升到 2007 年的 73 km,空间分布强度指数从 1992 年的 5.81 上升到 2007 年的 39.04,互花米草滩相对均匀地逐年快速增加使其在局部范围内迅速聚集壮大并蔓延开来,逐渐由局部的小聚集演变为大范围的高度聚集。

表 2　1987—2007 年各湿地景观类型的空间特征尺度和空间分布强度值

Table 2　Spatial patch radius and crowding values of all wetland landscapes from 1987 to 2007

湿地类型 Wetland Landscapes	空间特征尺度 Patch radius/km					空间分布强度 Crowding				
	1987	1992	1997	2002	2007	1987	1992	1997	2002	2007
獐茅滩 *Aeluropus littoralis*	75	79	49	7	—	94.35	82.09	35.12	8.49	—
芦苇滩 *Phragmites communis*	8	8	8	26	12	15.39	7.94	11.74	13.46	12.61
碱蓬滩 *Suaeda glauca*	81	44	54	11	11	160.65	35.15	44.16	11.41	16.93
互花米草滩 *Spartina alterniflora*	—	32	54	64	73	—	5.81	17.83	39.22	39.04
水产养殖塘 Aquacultural ponds	21	12	36	80	82	10.22	7.89	17.60	132.20	126.20
盐田 Salt fields	30	28	27	29	31	125.53	120.27	173.91	131.51	136.75
农业用地 Agricultural land	23	24	34	90	89	39.83	30.43	34.10	74.20	109.22

人工湿地基本表现出与自然湿地相反的空间分布趋势,其呈现出从多个尺度上的局部小范围聚集到单尺度上的大范围高度聚集分布的变化。这点在水产养殖塘和农业用地两个湿地类型方面表现的尤为突出,二者的 $L_{mm}(d)$ 曲线峰值均出现了明显的变化,表明相应湿地类型正从多个不同尺度上的弱聚集逐渐演变为单个较大尺度上的强聚集。水产养殖塘的空间特征尺度从 1987 年的 21 km 上升到 2007 年的 82 km,空间分布强度从 1987 年的 10.22 猛烈上升到 2007 年的 126.20;农业用地的空间特征尺度从 1987 年的 23 km 上升到 2007 年的 89 km,空间分布强度从 1987 年的 39.83 迅速上升到 2007 年的 109.22,和水产养殖塘基本表现出一致的空间变化趋势;盐田的空间特征尺度变化不大,集中在 27—31 km 之间,空间分布强度整体变化幅度较小,且在 1997 年达到最高,表明其在局部小范围的聚集尺度和规模基本保持不变。

3　讨论

左平等[7]采用斑块个数、斑块平均面积和平均斑块最近距离 3 个景观指数对受人类活动干扰较强的湿地类型进行了变化分析,本文的相关结论与其结论中对各湿地景观类型变化趋势的表述基本一致。对照来看,其结论指出盐城滨海湿地的景观变化总体上有破碎化程度加剧的趋势,自然湿地方面,獐茅滩和碱蓬滩的面积均持续减少,芦苇滩也呈现出先增加后减少的情况,此外互花米草滩无论是斑块个数还是面积均是逐年递增,而这恰恰和本研究中自然湿地在多尺度的变化相吻合,如獐茅滩和碱蓬滩在多尺度上的聚集性减弱及空间分布强度不断下降,芦苇滩的特征尺度先稳步下降后迅速增加再迅速减少的趋势,互花米草滩聚集性迅速增强等;而人工湿地方面,其结论中鱼塘的面积和平均斑块最近距离有大范围增加的趋势,盐田的斑块平均面积出现了先减少后增加的趋势,这也和本研究中所对应的人工湿地的聚集尺度和规模的变化趋势相似。此

外,张华兵等[32]指出盐城国家级自然保护区核心区湿地景观格局经历了从 1987 年一定的规律带状分布到 2007 年的镶嵌格局转变的过程,这与本文中部分自然湿地减少(如獐茅滩、碱蓬滩等),从规则的条带状分布到聚集特征尺度骤减,零散分布的趋势基本相同。

本文借助点格局理论,依托于遥感和地理信息技术,应用加权 Ripley′s K-function 分析了盐城滨海湿地景观格局 20 年间的变化情况,该方法最大限度地利用点格局的位置和距离信息,同时考虑了各样点本身的分布范围。结论表明,加权 Ripley′s K-function 方法能够在一定程度上减少和避免传统 Ripley′s K-function 方法所造成的两种伪空间分布结果:一方面,在传统分析方法中,由于大面积成片状或者带状分布的湿地类型直接点状化往往只能生成较少数量的样点,导致某一类型的湿地虽然在 GIS 图层上有明显的聚集变化,但却被传统方法解读为随机或者分散分布,而加权方法由于考虑了样点的分布范围,体现出了研究对象在连续空间上的面积变化情况,因此可以将该种类型湿地在多尺度上的聚集变化表征出来,本研究中大面积成片分布的人工湿地的提取和空间分布结论证明了加权方法在这方面的科学性;另一方面,对因破碎化比较严重而生成众多样点的湿地类型而言,传统方法容易生成“伪聚集或过聚集”[30]现象,而改进方法中由于加入了众多样点的面积值作为权重变量,使得运算结果更加接近于现实中的分布状态,如本方法较好地避免了破碎化严重的獐茅滩的“过集聚”分布的现象,揭示了其在聚集尺度和规模上逐渐萎缩甚至几近消失的变化情况。另外需要指出的是,在本研究中,改进方法中的尺度变化指的各类型湿地在南北方向上的距离差异,距离计算基于的是样带质心组成的一维空间,长度不等及其样带内的差异导致的实际距离差异在本研究中予以忽略,考虑到研究区域的差异性,将该方法应用到其他案例时,样带的大小确实会是一个值得严谨考虑的问题,其在一定程度上影响到质心的位置及其湿地类型的多少,且样带内的差异同样也值得探讨。本文未对此进行详细的说明和进一步的分析,略显不足,今后将加以弥补和完善。实践证明,利用改进的 Ripley′s K-function 可以很好地反映出各类型湿地在 1987—2007 年间在多尺度的空间变异,该方法能简单有效地体现湿地格局从宏观到微观的空间分布特征,并能给出空间分布格局的最大聚集强度及其对应的空间特征尺度,且计算结果和实际的空间聚集变化趋势保持一致,今后可以作为持续分析盐城滨海湿地景观变化及其生态过程的重要工具。

景观的空间格局是各种生态过程在不同尺度上的长期相互作用的结果,因此驱动力的分析也应基于不同的研究尺度。针对滨海湿地景观演变的驱动力分析目前已有较多论述[7, 32-33],且论述基本一致,主要的分析集中在自然地理等生态机制(海岸地貌侵蚀与淤积过程以及植被的自然演替过程)和人为干扰等要素(米草物种的引进和扩散,各时期不同程度的滩涂围垦等经济开发活动以及区域人口增长等)两个方面。这两大因素相辅相成,密不可分,共同决定了滨海湿地在各个时间段内区域潜在的异质性空间格局,而这些格局最终也通过各湿地类型的空间特征尺度和空间分布强度在本研究中充分表现出来。如自然湿地方面,以互花米草为例,由于其疯狂的繁殖能力,在局部区域迅速聚集为较大斑块,并逐渐扩散开来,表现为聚集尺度和规模的激增;人工湿地方面,以水产养殖塘为例,过度捕捞导致许多渔民被迫走上滨海养殖道路,表现为水产养殖塘在 2002 和 2007 年以来的聚集空间特征尺度和规模的大幅上升。鉴于研究区的各类景观类型在多尺度上受到来自各类海洋物理,生物生态,化学以及人为等驱动因子的共同作用,且在多个尺度上的作用强度以及方向不尽一致,从格局到过程的推绎仍然面临一些挑战,因此本文只是揭示出各类自然湿地类型在多个空间特征尺度上的变化情况,未对各类生态过程在多尺度空间上如何作用于湿地类型进行详细分析,对该部分内容进行专门分析以便为管理层提供更好的量化指标将成为下一步的研究重点。

致谢:感谢 Charles“Pete”H. Peterson 教授对英文写作的帮助。

参考文献(References):

[1] 邬建国. 景观生态学中的十大研究论题. 生态学报, 2004, 24(9): 2074-2076.

[2] 邬建国. 景观生态学——概念与理论. 生态学杂志, 2000, 19(1): 42-52.

[3] 张娜. 生态学中的尺度问题: 内涵与分析方法. 生态学报, 2006, 26(7): 2340-2355.

[4] 赵玉涛, 余新晓, 关文彬. 景观异质性研究评述. 应用生态学报, 2002, 13(4): 495-500.
[5] Wu J. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. Landscape Ecology, 2004, 19(2): 125-138.
[6] Cushman S A, McGarigal K. Hierarchical, multi-scale decomposition of species-environment relationships. Landscape Ecology, 2002, 17(7): 637-646.
[7] 左平, 李云, 赵书河, 周鑫, 滕厚锋, 陈浩. 1976 年以来江苏盐城滨海湿地景观变化及驱动力分析. 海洋学报, 2012, 34(1): 101-108.
[8] 翟可, 刘茂松, 徐驰, 崔丽娟, 徐惠强. 盐城滨海湿地的土地利用/覆盖变化. 生态学杂志, 2009, 28(6): 1081-1086.
[9] 李杨帆, 朱晓东, 邹欣庆, 高建华. 江苏盐城海岸湿地景观生态系统研究. 海洋通报, 2005, 24(4): 46-51.
[10] 刘春悦, 张树清, 江红星, 王会, 孙妍. 江苏盐城滨海湿地景观格局时空动态研究. 国土资源遥感, 2009, 21(3): 78-83.
[11] 吕一河, 陈利顶, 傅伯杰. 景观格局与生态过程的耦合途径分析. 地理科学进展, 2007, 26(3): 1-10.
[12] Thompson F R, Donovan T M, DeGraaf R M, Faaborg J, Robinson S K. A multi-scale perspective of the effects of forest fragmentation on birds in eastern forests.
[13] Herrando S, Brotons L. Forest bird diversity in Mediterranean areas affected by wildfires: a multi-scale approach. Ecography, 2002, 25(2): 161-172.
[14] 闫海冰, 韩有志, 杨秀清, 王丽艳, 项小英. 华北山地典型天然次生林群落的树种空间分布格局及其关联性. 生态学报, 2010, 30(9): 2311-2321.
[15] Henderson D C, Naeth M A. Multi-scale impacts of crested wheatgrass invasion in mixed-grass prairie. Biological Invasions, 2005, 7(4): 639-650.
[16] Wimberly M C, Ohmann J L. A multi-scale assessment of human and environmental constraints on forest land cover change on the Oregon(USA) coast range. Landscape Ecology, 2004, 19(6): 631-646.
[17] Camarero J J, Gutiérrez E, Fortin M J. Spatial pattern of subalpine forest-alpine grassland ecotones in the Spanish Central Pyrenees.Forest Ecology and Management, 2000,134(1): 1-16.
[18] 刘小恺, 刘茂松, 黄峥, 徐驰, 张明娟, 王汉杰. 宁夏沙湖 4 种干旱区群落中主要植物种间关系的格局分析. 植物生态学报, 2009, 33(2): 320-330.
[19] Heinemann D, Hunt G, Everson I. Relationships between the distributions of marine avian predators and their prey, Euphausia superba, in Bransfield Strait and southern Drake Passage, Antarctica. Marine Ecology Progress Series, 1989, 58: 3-16.
[20] Fauchald P, Erikstad K E, Skarsfjord H. Scale-dependent predator-prey interactions: the hierarchical spatial distribution of seabirds and prey. Ecology, 2000, 81(3): 773-783.
[21] O′Driscoll R L. Description of spatial pattern in seabird distributions along line transects using neighbour K statistics. Marine Ecology Progress Series, 1998, 165: 81-94.
[22] 高凯, 周志翔, 杨玉萍, 李华. 基于 Ripley K 函数的武汉市景观格局特征及其变化. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2621-2626.
[23] 王金亮, 黄志霖, 邵景安, 李阳兵. 林地景观点格局的样带梯度分布与空间聚集特征——以重庆三峡库区生态屏障区为例. 地理科学进展, 2013, 32(2): 308-317.
[24] Kraft C E, Sullivan P J, Karatayev A Y, Burlakova L E, Nekola J C, Johnson L E, Padilla D K. Landscape patterns of an aquatic invader: assessing dispersal extent from spatial distributions. Ecological Applications, 2002, 12(3): 749-759.
[25] Roose A, Sepp K, Saluveer E, Kaasik A, Oja T. Neighbourhood defined approaches for integrating and designing landscape monitoring in Estonia. Landscape and Urban Planning, 2007, 79(2): 177-189.
[26] 吕士成. 盐城沿海滩涂丹顶鹤的分布现状及其趋势分析. 生态科学, 2008, 27(3): 154-158.
[27] 左平, 刘长安, 赵书河, 王春红, 梁玉波. 米草属植物在中国海岸带的分布现状. 海洋学报, 2009, 31(5): 101-111.
[28] Wiegand T, Moloney K A. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. Oikos, 2004, 104(2): 209-229.
[29] Ripley B D. Modeling spatial patterns (with discussion). Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 1977, 39(2): 172-212.
[30] Giuliani D, Arbia G, Espa, G. Weighting Ripley′s K-Function to account for the firm dimension in the analysis of spatial concentration. International Regional Science Review,2012. 00(0) 1-22.
[31] Besag J. Contribution to the discussion of Dr Ripley′s paper. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 1977, 39: 193-195.
[32] 张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 李玉凤. 自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异. 生态学报, 2012, 32(1): 101-110.
[33] 王敬华, 何大巍, 张策, 丁长虹, 张树清. 江苏盐城滨海湿地研究进展. 湿地科学与管理, 2011, 7(3): 60-63.