

基于 GIS/RS 的滨海湿地景观格局多尺度分析——以辽宁省大洼县为例

董文雪^{1,3}, 王方雄^{1,2,3*}, 侯英姿^{1,3} (1. 辽宁师范大学辽宁省自然地理与空间信息科学重点实验室, 辽宁大连 116029; 2. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 辽宁大连 116029; 3. 辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁大连 116029)

摘要 以辽宁省大洼县滨海湿地为研究对象, 基于 GIS 技术, 采用 2000、2009 年两个时相 ETM/TM 影像数据, 选取了斑块类型水平和景观水平上有代表性的 27 个景观指数来定量研究滨海湿地景观格局的多尺度特征, 分析了两个时间尺度上 8 种空间粒度的滨海湿地景观指数的尺度规律与景观格局的时空分异。研究表明: 大洼滨海湿地的斑块密度(PD)、斑块数(NP)和蔓延度(CONTAG)等指数与空间粒度有很明确的函数关系(幂/对数函数等), 可预测性强; 最大斑块指数(LPI)、最大形状指数(LSI)等总体呈增大趋势, 但无明显函数关系; 而 Shannon 多样性、均匀性指数(SHDI, SHEI)等则无空间粒度变化效应。2000~2009 年, 斑块类型百分比(PLAND)、景观分维数(FRAC_MN)等指数在增大, Shannon 多样性(SHDI)等指数减小。说明了人类活动对大洼滨海湿地景观格局的干扰明显, 景观破碎度增加, 总体湿地景观结构向简单化方向发展。2000、2009 年两个时相的重要景观指数斑块数(CA)、边界密度(ED)、聚集度(AI)等与空间粒度呈相似的函数关系, 具有较好的预测性。

关键词 滨海湿地; 景观格局; 多尺度; 景观指数; GIS/RS

中图分类号 S127 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)32-12672-05

Multi-scale Analysis of Coastal Wetland Landscape Pattern Based on GIS/RS —— A Case Study of Dawa County in Liaoning Province
DONG Wen-xue et al (Liaoning Key Laboratory of Physical Geography and Geomatics, Liaoning Normal University, Dalian, Liaoning 116029)

Abstract Taking coastal wetland in Dawa County, Liaoning Province for example, multi-scale features of the landscape pattern were studied quantitatively on the basis of GIS, by resorting to image data of two temporal in 2000 and 2009 respectively, ETM/TM, and picking 27 typical landscape indexes due to patch class level and landscape level. Thus, both scale regulation of the landscape index of the coastal wetland and temporal-spatial differences of the landscape pattern of 8 types of spatial grain in 2 temporal scales were analyzed. The research result indicates that accurate functions which give fairly good predictabilities, such as power / logarithmic function, exist between spatial grain and indexes like patch density of Dawa coastal wetland, number of patches, contagion index, etc., while both Shannon's diversity index and Shannon's evenness index do not witness any difference brought by the changes in the spatial grain. Besides, from 2000 to 2009, there were increases in indexes like percent of landscape as well as mean fractal dimension of patch, whereas decline occurred in indexes such as SHDI, which demonstrates that activities of human being disturb landscape structure of Dawa coastal wetland significantly—the overall landscape structure of wetland tends to be simpler with the growth in landscape fragmentation. Finally, similar function relations does spatial grain share with crucial landscape indexes of 2 temporal in 2000 and 2009, number of patches, edge density and aggregation index, etc., that the predictabilities turn out to be relatively well.

Key words Coastal wetland; Landscape pattern; Multi-scale; Landscape indices; GIS/RS

尺度是指在研究某一物体或现象时所用的空间或时间单位。在景观生态学中, 尺度用粒度和幅度来表达。粒度包括空间粒度和时间粒度。空间粒度指景观中最小可识别单元所代表的特征长度、面积或体积(如样方、像元); 时间粒度指某一现象或事件发生的频率或时间间隔^[1-3]。景观格局是空间异性的具体表现, 它具有尺度效应, 即是空间数据因聚合而改变其粒度或栅格单元大小时, 分析结果也随之改变的现象^[4]。在量化分析景观格局的过程中, 把景观指数随尺度变化的曲线称之为尺度效应曲线。自 20 世纪 80 年代中期以来, 尺度效应问题在生态学、地理学、遥感学上都有研究^[5-8], 这些研究对景观格局的空间异性的多尺度效应本质有着重要意义。但大多数考虑的尺度范围较窄, 选取的景观指数较少, 缺少对特定地类的分析。

滨海湿地是珍贵的自然资源, 也是重要的生态系统, 广布于沿海海陆交界、淡咸水交汇区域, 不仅拥有丰富的生物多样性和极高的生产力, 而且蕴藏着珍贵的能源和矿产资源, 同时在调节气候、调蓄洪水、降解污染等方面起着极其重

要的作用。近年来, 湿地是受人类破坏最严重的生态系统, 很多人类活动干扰了湿地景观格局。

1 研究方法

1.1 研究区概况 大洼县位于辽宁省盘锦市, 地处辽河三角洲的辽东湾北岸, 地势平坦, 是由大辽河、辽河淤积退海滩涂发育而形成的滨海平原。该地区属于温带大陆性半湿润季风气候, 具有暖温带和中温带过渡性特征, 四季分明, 气候温和。年平均气温 9.3℃, 年平均降雨量 647.3 mm, 年平均无霜期 208 d, 全年日照时数 2 816 h。春季多西南风, 冬季北风见多。湿地资源与水资源丰富, 有大辽河/双台子河、辽河等流经境内。大洼县是“辽宁沿海经济带”的重要县城, 也是双台河口国家级自然保护区和双台河口生态监控区的所在地。2000 年以来, 城市化快速扩张、水产养殖迅速发展等使得滨海湿地演化更为复杂且不稳定, 退化严重。

1.2 滨海湿地景观分类 依据《全国湿地资源调查与监测技术规程》^[9] 的湿地分类方法与辽宁滨海湿地的分类方案及解译标志, 结合大洼县滨海湿地的分布现状, 考虑到遥感数据(针对 Landsat 影像)的可分辨性及目视解译的可操作性, 将大洼县滨海湿地景观划分为两大类: 天然湿地(滩涂、沼泽与河流湖泊)和人工湿地(水田、坑塘水库、盐田及海水养殖场)。

1.3 滨海湿地景观数据提取 选用大洼县 2000、2009 年两

基金项目 教育部人文社会科学研究青年基金项目(11YJC630202)。
作者简介 董文雪(1992-), 女, 四川成都人, 本科生, 专业: 地理信息系统。* 通讯作者, 博士, 副教授, 从事 GIS 集成与建模研究。

收稿日期 2013-10-21

个时相的 Landsat ETM/TM 遥感影像数据作为景观数据源,使用 ENVI 软件对其进行几何校正、配准、镶嵌,将 ETM/TM 波段 5/4/1 合成假彩色图像;然后结合 1:100 000 土地利用现状数据、1:50 000 地形图及野外湿地调查数据等建立分类

模板进行监督分类和人工目视解译;进而将解译结果矢量化导入 ArcGIS 中绘制景观格局分布图(图 1);最后,在 ArcGIS 中改变分辨率(30/60/90/120/150/180/210/240 m),生成两个时相 8 种空间粒度的景观数据(GRID 格式)。

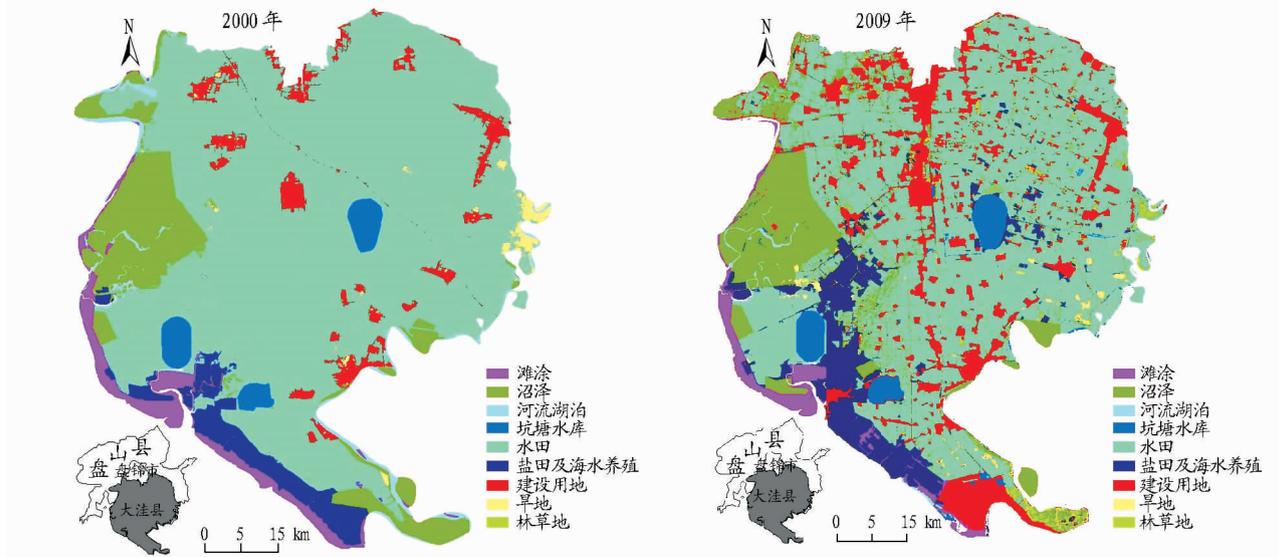


图 1 2000、2009 年大洼县滨海湿地景观格局(30 m)

1.4 景观指数的选取与计算 景观格局的多时空尺度分析是认识生态学过程空间异质性的的重要途径。景观指数(landscape indices)是景观生态学界广泛用于研究景观格局的一种量化方法,分为斑块水平、斑块类型水平和景观水平 3 个尺度。该研究注重滨海湿地景观的时空整体特征,因此选取了斑块类型水平和景观水平两个尺度的一系列景观指数。选取的景观水平指数有:斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、最大形状指数(LSI)、边界密度(ED)、蔓延度(CONTAG)、斑块结合度(COHESION)、Shannon 多样性指数(SHDI)等 15 个指数;选取的斑块类型水平指数有:斑块类型百分比(PLAND)、最大斑块指数(LPI)、景观连接度(LCI)、景观分割度(DIVISION)等 12 个指数。将 2000、2009 年 8 种空间粒度的 16 份滨海湿地景观数据(GRID 格式)分别导入目前国际上主流的景观指数计算软件 Fragstats(v3.4)^[10],计算所选的 27 个景观指数^[11]。

2 结果与分析

2.1 滨海湿地景观格局的空间粒度效应 随着空间粒度的增大,各种景观指数都有明显的变化。同一景观在空间粒度不同时用相同的景观指数对其景观格局特征进行量化时,结果是不同的。这是因为粒度的增大能够改变斑块的边界,分割或融合斑块,从而引起景观格局的变化,导致描述这些格局的景观指数也发生相应的变化^[12]。根据空间粒度增大时不同尺度效应曲线的变化,将效应曲线变化趋势分为 3 类:①在斑块类型水平上随空间粒度增大而减小,呈相应函数下降的景观指数,且具有比较明确的尺度效应关系,可预测性较强,如 PD、ED 等(图 2);②在斑块类型水平上随空间粒度的增大,总体趋势也增大但是不单调的景观指数,没有明确单一的尺度效应关系,可预测性不强,如 LPI、LSI 等(图 3);③在景观水平上随空间粒度增大而保持不变的景观指数,尺度效应关系不明显,如 SHDI 和 SHEI(图 4)。

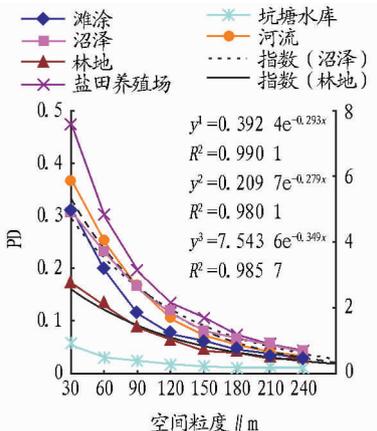


图 2 斑块密度(PD)粒度效应

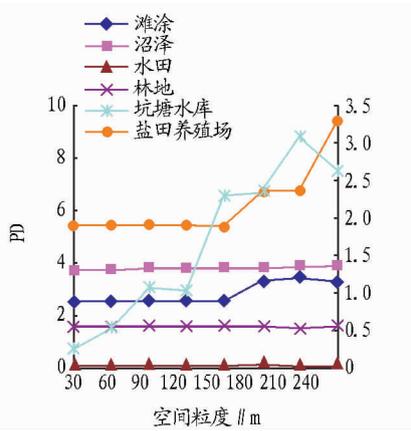


图 3 最大斑块指数(LPI)粒度效应

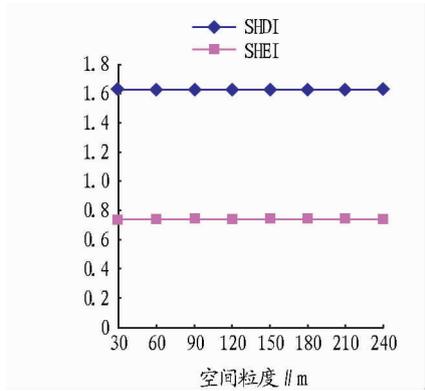


图 4 Shannon 多样性指数、Shannon 均匀性指数粒度效应

PD反映了景观的破碎指数,PD的值越大,景观的破碎程度越大,景观异质性越高^[13]。各湿地类型的PD都在平滑地下降,说明景观破碎度在下降。空间粒度从30 m增大到240 m的过程中,LPI总体也呈增加趋势,说明最大斑块和最小

斑块的差距在增加。

2.2 滨海湿地景观格局的时间动态变化 在同一空间粒度下(30 m)改变时间粒度,研究2000、2009年两年湿地景观格局的景观指数,得到了表1作为分析依据。

表1 2000、2009年大洼县湿地景观格局指数(30 m)

年份	类型	CA	PLAND	DIVISION	FRAC_MN	SHDI	SHEI	AI
2000	滩涂	15 773.04	6.459 9	0.998 7	1.039 3			97.481 1
	沼泽	21 382.11	8.757 1	0.998 3	1.045 1			97.023 3
	河流	86 558.67	35.450 5	0.968 3	1.054 8			90.626 3
	林地	599.58	0.245 6	1	1.046 5			73.047 1
	总体景观	244 167.80	100			1.622 7	0.738 5	
2009	滩涂	3 065.22	1.255 4	1	1.036 2			77.970 7
	沼泽	8 547.84	3.500 8	1	1.045 0			76.092 6
	河流	21 840.03	8.944 7	0.996 7	1.032 7			87.546 4
	林地	288.12	0.137 3	1	1.048 4			57.231 8
	总体景观	24 4167.8	100			1.830 8	0.833 3	

PLAND反映了斑块所占景观的面积比例,从表1和图5可以看出,2000~2009年大洼县的滨海湿地景观格局湿地类型的斑块比例减少,非湿地类型,如旱地、建设用地的斑块面积增加。湿地类型中天然湿地整体都呈下降趋势,部分人工湿地的面积增加了。如水田、盐田养殖场非湿地类型中,建设用地的面积比例大幅度增加,说明人类活动已经严重干扰湿地生态平衡,湿地数量锐减。就整个景观而言,从斑块数量来看,2000年的湿地景观CA比2009年大,相应的斑块密度也高于2009年。这主要是因为湿地景观斑块数量减少,斑块密度也减少,说明整个景观的镶嵌度减少,景观的空间异质性增强。

FRAC_MN反映了斑块类型的复杂程度,各个湿地类型的FRAC值均大于1,说明各类湿地都已经脱离了规则的几何形状。从图6可以看出,从2000~2009年,各湿地类型景观的分维值都出现了不同程度的减小,说明了过度的人类活动影响了湿地景观格局,斑块的形状趋于简单化。其中的河流景观的分维值不增反降,是因为河流的连通性高,整体的自相似程度较低,斑块形状不规则。

SHDI能反映景观要素的多少和各景观要素所占比例的变化,特别对景观中各斑块类型非均衡分布状况较为敏感。2009年的SHDI值高于2000年,原因在于占绝对优势的河流面积减少,其他成分占的份额增大;同时也说明了2009年湿地景观分布较2000年均匀。在一个景观系统中,SHDI的值越高,说明景观的破碎化程度越高。从表1可以看出,景观的破碎化程度也随年份在递增。SHDI描述了景观由少数几个主要景观控制的程度,SHEI与优势度指标(Dominance)之间可以相互验证^[14]。SHEI值较小时,优势度值一般较高。2000年中河流所占比例较大,所以2000年的景观优势度高于2009年。2000年的SHEI指数为0.738 5,说明该年湿地景观各类型所占的比例差异不大,2009年的SHEI指数为0.833 3,均匀度有所上升,说明了景观中某些景观类型的优势地位上升了。

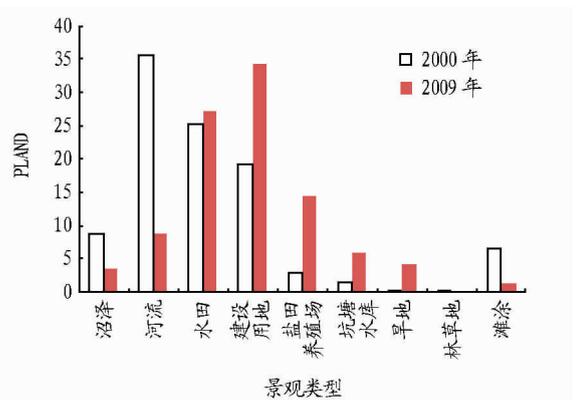


图5 湿地景观斑块类型百分比指数 (PLAND)

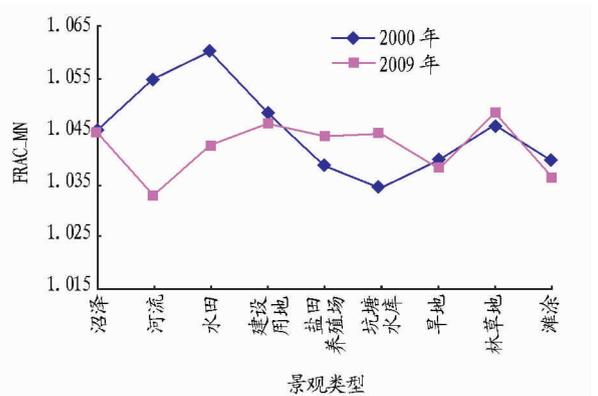


图6 湿地景观平均斑块分维数 (FRAC_MN)

2.3 滨海湿地景观格局的时空动态变化 在时间粒度增大的情况下,通过景观指数同时分析对比了2000、2009年的湿地景观格局的差异,在景观类型水平上选取了NP、PD、ED、CONTAG、AI、FRAC_MN等指数(表2)。

从空间粒度上看,随着空间粒度的增大,PD和ED都表现为幂函数或指数函数下降的趋势(图7)。这是由于在重采样的过程中,景观中小面积斑块被过滤并逐渐合并^[15],导致各类型斑块数目的减少,斑块密度、边界密度都有所下降。从时间尺度上看,每个空间粒度下,2000年的斑块密度比

2009 年的斑块密度指数大,且 2000 年的 ED 呈指数函数下降,2009 年的 ED 呈幂函数下降(图 8),在研究区的总面积不变的情况下,说明是因为斑块随着时间累积趋于分散,整个景观格局破碎化程度增加,也验证了研究 2.1 中的结论。同时从 NP 也可以发现(图 9),2009 年的斑块数值大于 2000

年,也验证了随着时间的增加,研究区破碎度增加。NP 数可以反映整个空间格局,常被用来描述空间异质性。以上指数从整体上从不同方面反映了整个研究区的景观破碎化程度,反映了人类活动对当地湿地景观格局的干扰程度。

表 2 空间粒度变化下 2000、2009 年大洼县湿地景观格局指数

时间 粒度	空间 粒度	NP	PD	ED	LSI	FRAC_MN	PARA_MN	CONTAG	COHESION	DIVISION	AI
2009 年	30 m	89 742	11.485 1	64.629 3	140.268 1	1.042 6	1 096.012 0	44.502 9	98.861 3	0.934 8	83.156 2
	60 m	38 797	7.860 8	57.332 1	95.039 7	1.033 6	579.703 5	40.816 6	98.497 7	0.917 2	77.283 2
	90 m	21 380	5.215 8	48.862 6	71.595 6	1.030 2	390.523 5	39.101 8	98.527 2	0.867 1	74.431 8
	120 m	13 611	3.484 8	41.278 1	57.931 4	1.027 6	293.995 0	37.828 7	98.281 3	0.857 8	72.535 5
	150 m	9 631	2.541 5	35.737 1	49.114 4	1.025 7	236.042 1	37.065 2	97.988 1	0.855 9	70.994 0
	180 m	7 224	1.917 6	31.709 6	43.069 1	1.024 3	197.674 7	36.208 0	97.727 0	0.854 6	69.603 0
	210 m	5 658	1.503 7	28.522 2	38.452 2	1.023 9	169.749 5	35.611 8	97.434 3	0.854 9	68.449 4
	240 m	4 542	1.177 6	25.880 3	34.890 8	1.022 9	148.743 6	34.938 3	97.148 2	0.855 2	67.407 6
2000 年	30 m	28 043	36.754 2	112.761 7	80.822 6	1.052 9	785.140 8	53.862 4	99.210 4	0.946 6	90.382 2
	60 m	19 217	15.870 2	76.117 6	71.831 7	1.040 5	513.037 1	49.129 5	98.483 0	0.948 4	82.932 4
	90 m	12 727	8.762 0	57.178 5	61.328 8	1.034 9	369.081 8	46.541 0	97.419 7	0.955 2	78.190 2
	120 m	8 508	5.575 0	46.113 1	51.962 4	1.033 5	281.001 0	45.106 5	96.017 7	0.959 7	75.454 3
	150 m	6 209	3.942 2	38.993 7	45.096 2	1.032 0	225.824 8	44.161 0	95.676 6	0.957 5	73.458 7
	180 m	4 687	2.955 6	34.078 0	40.145 5	1.031 6	188.399 3	43.303 4	95.196 4	0.956 2	71.760 6
	210 m	3 672	2.317 0	30.338 5	36.210 2	1.030 4	162.579 5	42.544 4	95.241 6	0.952 6	70.386 6
	240 m	2 876	1.859 7	27.439 7	32.964 8	1.030 4	142.054 8	42.014 3	94.540 2	0.954 2	69.313 1

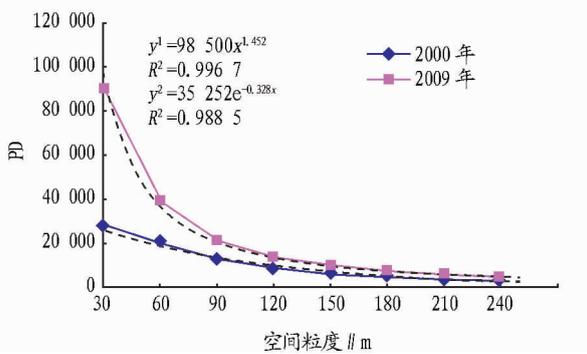


图 7 斑块密度(PD)粒度效应

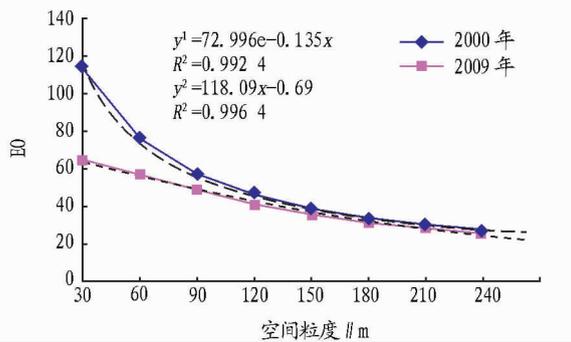


图 8 边界密度(ED)粒度效应

CONTAG 用来描述景观中不同景观类型的团聚程度,取值在 0~100。CONTAG 的尺度效应明显,可预测性较强。由于粒度增大的过程中斑块的形状被改变,面积较小的斑块被融合,景观类型间的团聚程度降低,随空间粒度的增大单调平滑下降(图 10)。从表 2 知,2000 和 2009 年的蔓延度指数

基本都低于 50%,说明了景观是具有多种要素的密集格局。景观的破碎程度较高,随着时间的累积,CONTAG 值越来越小,说明随着时间的增加,湿地景观格局趋于破碎化。同时可以发现随着空间粒度的增加,AI 的尺度效应曲线也随粒度增大分别随年份不同而呈指数或对数下降,AI 表达的是同类型象元的相对聚集或分散的情况。可以发现,2000 和 2009 年在空间粒度为 30 m 时 AI 值最高,此后分别呈指数和幂函数下降(图 11),因为空间粒度增大,总象元数目降低,同类型象元的相对聚集度降低。2000~2009 年,CONTAG、AI、DIVISION 减少,说明了整个景观受人为干扰较大,要素类型分布不均匀。优势斑块类型的比例增加,其他斑块有适度降低,景观的空间连接性上升,斑块分布更为分散。

3 结语

该研究基于 GIS 技术,以遥感影像为数据源,应用 Fragstats 3.4 软件对辽宁省大洼县滨海湿地进行多尺度研究,选取了 27 个代表性景观指数,定量分析了景观格局的多时空尺度特征,研究结果表明:①大洼县滨海湿地景观格局具有明显的尺度效应。在空间粒度不变的前提下,随着时间尺度的增大,有些景观指数表现出不同程度的规律变化,具有明显的尺度效应,可预测性强。其中各种滨海湿地的 PD 指数都随粒度的增大呈指数函数下降。②在时间尺度变化下,天然湿地类型的斑块指数降低。斑块密度减少,整个景观的空间异质性增强。景观分维值减少,景观形状趋于简单化。其中建设用地、盐田养殖场等人类活动的产物斑块比例大幅增加;天然湿地,如沼泽、滩涂、草地等景观要素都呈现大幅减少的趋势,加强对滨海湿地景观的保护已刻不容缓。③基于

时空粒度的共同变化,2000 和 2009 年大洼县滨海湿地的景观指数(如 PD、ED、CONTAG、AI 等)随着空间粒度的变化都呈现了规律性函数关系,两个时间尺度上下降的趋势稍有不

同。分析表明,滨海湿地总面积减少,景观破碎度上升,湿地结构退化并向简单化方向发展。

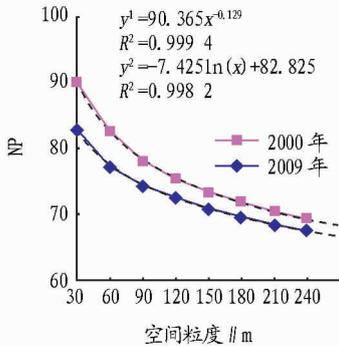


图9 斑块数(NP)粒度效应

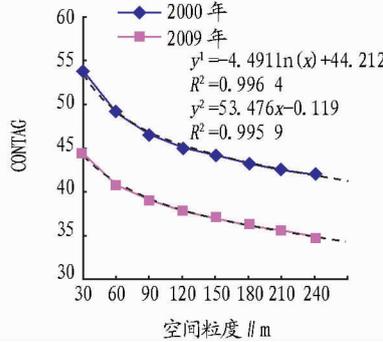


图10 蔓延度(CONTAG)粒度效应

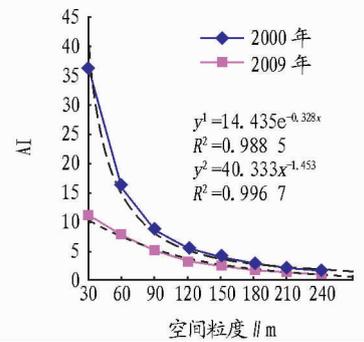


图11 聚集度(AI)粒度效应

参考文献

[1] LAM N S N,QUATTROCHI D A. On the issues of scale, resolution, and fractal analysis in the mapping sciences [J]. Professional Geographer, 1992, 44: 88 - 98.

[2] JENERETTE G D,WU J. On the definitions of scale[J]. Bulletin of Ecological Society of America,2000, 81: 104 - 105.

[3] SCHNEIDER D C. The rise of the concept of scale in ecology[J]. Bio Science, 2001, 51: 545 - 553.

[4] WU J G. Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.

[5] MEETEMEYER V, BOX E O. Scale effects in landscape studies [M]// TURNER M G. Landscape Heterogeneity and Disturbance. New York: Springer-Verlag, 1987: 15 - 34.

[6] TURNER M G, O'NEILL R V, GARDNER R H, et al. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern [J]. Landscape Ecology, 1989, 3: 153 - 163.

[7] BENSON B J, MACKENZIE M D. Effects of sensor spatial resolution on landscape structure parameters [J]. Landscape Ecology, 1995, 10(2): 113 -

120.

[8] WICKHAN J D, RIITERS K H. Sensitivity of landscape metrics to pixel size [J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16: 3585 - 3595.

[9] WERG (Wetland Ecosystems Research Group). Wetland Functional Analysis Research Program [M]. London: College Hill Press, 1999.

[10] MCGARIAL K, CUSHMAN S A, NEEL M C, et al. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps [M]. Amherst, M R: University of Massachusetts.

[11] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 等. 景观格局指标对不同景观格局的反应 [J]. 生态学报, 2004, 24(1): 123 - 124.

[12] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(1): 121 - 125.

[13] 朱明, 濮劭杰, 李建龙. 遥感影像空间分辨率及粒度变化对城市景观格局分析的影响 [J]. 生态学报, 2008, 28(6): 2753 - 2763.

[14] 王宪礼, 肖笃宁, 布仁仓, 等. 辽河三角洲湿地的景观格局分析 [J]. 生态学报, 1997, 17(3): 318 - 323.

[15] 喻斐涵, 程明, 徐聪荣, 等. 景观类型水平景观指数的空间粒度效应研究 [J]. 广西林业科学, 2010, 40(1): 38 - 41.

(上接第 12664 页)

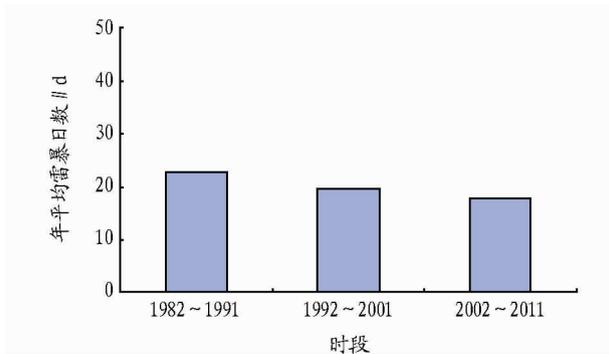


图2 濮阳地区 1982 ~ 2011 年年雷暴日数年际变化

2.4 雷暴初日、终日统计 统计分析 1982 ~ 2012 年雷暴日可知,濮阳地区 2 月下旬会出现雷暴,11 月下旬雷暴完全结束,而 12 月 ~ 次年 2 月上旬不出现雷暴。濮阳地区 1982 ~ 1991 年雷暴初日出现在 1987 年 3 月 23 日,雷暴终日出现在 1990 年 9 月 21 日;1992 ~ 2001 年雷暴初日出现在 1999 年 3 月 13 日,雷暴终日出现在 1997 年 9 月 30 日;2002 ~ 2011 年

雷暴初日最早出现在 2004 年 2 月 20 日,雷暴终日最晚出现在 2011 年 11 月 28 日。由此可见,濮阳地区雷暴的初日提前、终日推迟。

3 结论

(1)从 1982 ~ 2012 年间的雷暴日数分析,濮阳地区月平均雷暴日数的变化十分明显,相对比较稳定,3 ~ 6 月雷暴活动逐渐增多,6 ~ 8 月雷暴活动最强,9 ~ 11 月逐月减少。

(2)31 年濮阳地区雷暴日数的总趋势缓慢减速少,有年际变化。

(3)31 年间,濮阳地区雷暴的初日呈逐渐提前显著,终日逐渐推迟显著。

参考文献

[1] 郭冬梅,辛吉武,吴胜安,等. 海南雷暴气候特征及大气环流背景分析 [J]. 气象科技, 2008, 36(4): 404 - 409.

[2] 保尔汗江·买买提. 伊犁地区雷暴日特征和雷电防护等级区域划分 [J]. 气象科技, 2010, 38(6): 810 - 813.

[3] 孙丽,于淑琴,李岚,等. 辽宁省雷暴日数的时空变化特征 [J]. 气象与环境学报, 2010, 26(1): 59 - 63.

[4] 山义昌,王善芳. 近 40 年潍坊市雷暴日的气候特征 [J]. 气象科技, 2004, 32(3): 191 - 194.