

基于“资源三号”卫星的黄河口湿地景观格局及其空间尺度效应分析

肖艳芳, 张 杰, 马 毅, 王建步

(国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要: 为了在更精细尺度上分析黄河口湿地的景观格局特征, 作者基于 2012 年的国产高分辨率“资源三号”卫星遥感影像, 选取斑块类型面积(CA)、斑块个数(NP)、平均斑块面积(AREA_MN)、边缘密度(ED)、平均周长面积比(PARA_MN)、散布与并列指数(IJI)、香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)8 种常用的景观指数, 表征景观类型的面积与结构特征、形状特征、聚集特征和景观多样性特征, 开展了黄河口湿地的景观格局现状分析, 以及空间尺度对黄河口湿地景观格局分析的影响。结果表明: 黄河口湿地以裸滩和自然植被等自然景观为主, 人工景观所占比重较小, 但研究区内油井散布且数量众多, 道路修建所导致的景观破碎化已较为明显; 总体上, 研究区的景观特征具有较强的尺度依赖性, 其中表征面积和结构特征的斑块个数、边缘密度、平均斑块面积随着空间尺度的增大有明显的变化, 斑块面积则相对稳定, 形状特征表现出对空间尺度较强的依赖性, 聚集特征随空间尺度的变化不规律, 景观多样性特征随空间尺度的变化不明显; 不同景观类型的景观特征随空间尺度的变化有较大差异, 斑块为条状或斑块边界不规则的景观类型对空间尺度的依赖性更为显著。

关键词: 黄河口湿地; 景观指数; 景观格局; 空间尺度效应

中图分类号: F119.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)02-0035-08

doi: 10.11759/hyqx20141011013

景观格局影响着种群动态、生物多样性等生态学过程, 与生态系统的抗干扰能力、恢复能力和系统的稳定性有着密切的关系^[1-2]。掌握景观格局的时空变化特征和演替规律, 可以快速、准确地了解区域生态系统结构与功能的变化。然而, 景观格局具有尺度依赖性, 即尺度效应^[3-5]。不同因素在景观格局形成过程中的重要性随尺度而异, 因此认识并了解研究区的生态景观格局对尺度的依赖特征是正确理解格局与过程关系的关键。在景观生态学中, 尺度通常是指空间和时间上的粒度(grain)和幅度(extent)^[1]。空间粒度是指景观中最小可辨别单元所代表的特征长度、面积或体积, 对于空间数据或图像资料而言, 对应于最大空间分辨率或像元大小。时间粒度是指某一现象或事件发生的频率或时间间隔。幅度是指研究对象在空间或时间上的持续范围或长度。景观分析过程中, 尺度过小会造成研究区信息量过大, 掩盖某些重要信息; 而尺度过大又会造成细节信息的丢失, 甚至某些景观类型也会消失^[6]。

入海河口湿地位于江河入海的海陆交界处, 是陆地生态系统和海洋生态系统在强烈的相互作用下

形成的具有高物质、多样性和多功能的生态边缘区^[7]。黄河是世界上含沙量最大的河流, 其每年输送的泥沙大量淤积在河口三角洲上, 形成了大片保持着原生自然状态的湿地。作为一个新生的湿地系统, 黄河口湿地的生态环境较脆弱, 极易受到破坏。由于坡度平缓、波浪作用较小, 黄河口湿地的潮滩上发育了大量的水沟系^[8], 同时, 黄河口地区具有丰富的石油资源, 经济发展的需求使得湿地内出现大量的油井、道路及其他建筑设施, 对湿地的生态环境和景观格局都产生了重要的影响。

近年来有关黄河三角洲湿地景观变化及成因的研究较多^[9-14], 但研究对象多为整个近代或现代黄河三角洲, 所用的数据源也多为 Landsat TM 等中分辨率影像。黄河口湿地冲淤变化频繁, 景观斑块边界极不规则, 中分辨率影像难以提取准确的景观斑块

收稿日期: 2014-10-11; 修回日期: 2014-11-21

基金项目: 海洋行业公益性项目(201205008-01); 中欧“龙计划”三期项目(10470)

作者简介: 肖艳芳(1985-), 女, 山东潍坊人, 博士后, 主要从事海岸带遥感监测研究, 电话: 0532-88896419, E-mail: xiaoyanfang2006@126.com

信息,对油井、道路等人工建筑及潮沟的识别能力也十分有限,无法评估石油开采、道路修建和潮沟流系对黄河口湿地景观格局的影响。作者基于景观生态学原理,以黄河口湿地为研究对象,利用高分辨率的“资源三号”卫星遥感影像,选取具有代表性的景观指数,分析黄河口湿地的景观格局,以及空间粒度对黄河口湿地景观格局分析的影响。

1 研究区概况及数据

1.1 研究区概况

黄河口湿地位于山东省东营市黄河现行流路入海口处,黄河携带的大量泥沙以每年 $2\sim 3\text{ km}^2$ 的速度使黄河口湿地向渤海推进,是中国暖温带最完整、最广阔、最年轻的湿地生态系统。其淡水资源充足,动植物资源十分丰富,是珍稀、濒危鸟类的集中分布地和越冬栖息地。湿地内的植被以水生植被和盐生植被为主,植被种群组成简单,建群种较少;土壤类型以潮土和盐土为主;区域气候属温带大陆性季风气候,年平均气温 $12.1\text{ }^\circ\text{C}$,年降水量为 551.6 mm ^[15]。

1.2 数据源及数据处理

景观类型的划分是进行景观格局和动态分析的首要步骤,而土地覆被变化是景观格局变化的重要原因,因此,确定适宜的基本分类单元对景观生态的研究十分关键^[16-17]。作者借鉴国内外湿地分类研究成果,以2012年5月27日采集的“资源三号”卫星遥感影像为数据源,利用多光谱(空间分辨率为 6 m)与全色(空间分辨率为 2.1 m)的融合数据,结合野外实地调查,借助GIS技术,对研究区的遥感影像进行目视解译和分类,得到黄河口湿地的土地覆被类型图(图1)。

“资源三号”卫星是中国首颗民用高分辨率光学测图卫星,搭载一台地面分辨率为 2.1 m 的高分辨率正视全色延时积分成像相机、两台地面分辨率优于 3.6 m 的前视、后视全色CCD相机和一台地面分辨率优于 6.0 m 的正视多光谱相机。全色相机的光谱范围为 $0.50\sim 0.80\text{ }\mu\text{m}$,多光谱相机共4个波段,光谱范围分别为 $0.45\sim 0.52\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.52\sim 0.59\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.63\sim 0.69\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.77\sim 0.89\text{ }\mu\text{m}$ 。

将黄河口湿地的土地覆被类型分为自然植被、人工栽培植被、河流、坑塘、潮沟、裸滩、裸地、油田用地、道路和其他建设用地共10种类型,其中其他建设用地的斑块数和面积很小,结果分析中不予考虑。需要指明的是,由于黄河口湿地中植被混生

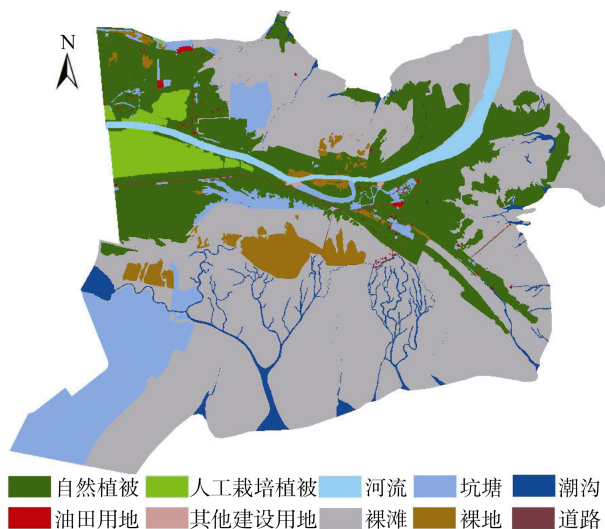


图1 基于“资源三号”卫星影像的黄河口湿地土地覆被类型图
Fig.1 The land cover map of Yellow River estuarine wetland based on “ZY-3” satellite image

现象严重,大多数的植被像元无法被明确地划分为某种植被类型,为了尽量避免人工解译的误差,作者仅将植被分为自然植被和人工栽培植被两类。

对由“资源三号”卫星得到的研究区土地覆被类型图进行重采样,得到粒度大小为 2.5 、 5 、 10 、 30 、 50 、 150 、 200 m 的景观类型图。

2 研究方法

景观指数有效反映景观格局信息,能够反映其结构组成和空间配置等方面的时空变化特征,是景观格局量化描述与评价常用的技术手段^[1, 18-21]。通常,景观指数可分为斑块水平指数、斑块类型水平指数和景观水平指数。目前属于上述景观指数类别范畴的指数类型数目繁多,大部分指数之间景观格局信息重复^[22-24]。基于此,作者根据前人对景观指数的分类结果^[25-27],在斑块类型水平上选择斑块类型面积、斑块个数、平均斑块面积、边缘密度表征研究区的景观类型面积和结构特征,平均周长面积比表征形状特征,散布与并列指数表征聚集特征,在景观格局水平上选择香农多样性指数和香农均匀度指数表征景观多样性特征,各景观指数的计算公式及生态学意义如下:

(1) 斑块类型面积(CA)。是度量景观组分和计算其他指标的基础,其值的大小制约着以某种景观类型斑块为聚集地的物种丰度、数量、食物链及其次生种的繁殖等。计算公式为:

$$CA = \sum_{i=1}^n a_i$$

式中, a_i 为某景观斑块面积, n 为斑块数。

(2) 斑块个数(NP)。反映景观的空间格局, 经常被用来描述整个景观的异质性, 其值的大小与景观的破碎度有很好的正相关性, 一般 NP 越大, 破碎度越高; NP 越低, 破碎度越低。计算公式为:

$$NP = n$$

式中, n 为某种景观类型总斑块数。

(3) 平均斑块面积(AREA_MN)。其值的分布区间一方面对图像或地图的范围以及对景观中最小斑块粒径的选取有制约作用; 另一方面可以表征景观的破碎程度, 是反映景观异质性的关键指标。计算公式为:

$$AREA_MN = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}$$

(4) 边界密度(ED)。用来分析斑块形状的重要指标, 表示景观类型被分割的程度。边界密度越大, 表示某景观类型被分割的程度越高, 布局越分散。计算公式为:

$$ED = \sum_{i=1}^n e_i$$

式中, e_i 为某斑块的边界长度。

(5) 平均周长面积比(PARA_MN)。是某类景观斑块周长-面积比的平均值, 可用以描述斑块的复杂性。计算公式为:

$$PARA_MN = \frac{\bar{e}_i}{a_i}$$

(6) 散布与并列指数(IJI)。是描述景观空间格局最重要的指标之一, 对受到某种自然条件严重制约的生态系统的分布特征反映显著。取值较小时, 表明该斑块类型仅与少数几种其他类型相邻接。计算公式为:

$$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right] \ln \left[\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right]}{\ln(m-1)}$$

式中, m 为某斑块的邻接斑块数目。

(7) 香农多样性指数(SHDI)。其值能反映景观异质性, 对景观中各斑块类型非均衡分布状况较为敏感, 强调稀有斑块类型对信息的贡献, SHDI 增大, 表明拼块类型增加或各拼块类型在景观中呈均衡化趋势分布。计算公式为:

$$SHDI = -\sum_{i=1}^m [A_i \ln(A_i)]$$

式中, m 为景观类型的数目。

(8) 香农均匀度指数(SHEI)。其值较小时优势度一般较高, 可反映出景观受一种或少数几种优势斑块类型所支配。其值趋近 1 时优势度低, 说明景观中没有明显的优势类型且各斑块类型在景观中均匀分布。计算公式为:

$$SHEI = \frac{-\sum_{i=1}^m [A_i \ln(A_i)]}{\ln m}$$

式中, m 为景观类型的数目。

将重采样生成的 7 种空间粒度的土地覆被类型图转化为 Arc Grid 格式, 逐一输入到景观格局分析软件 Fragstats4.1 中, 分别计算各景观指数的值。

3 黄河口湿地景观格局分析

基于“ZY-3”号卫星影像数据的解译结果, 计算裸滩、自然植被、人工栽培植被等 9 种景观类型的景观指数值和标准差, 分析黄河口湿地景观类型的面积和结构、形状及聚集特征。

3.1 景观类型的面积和结构特征

从表 1 中可以看出, 不同景观类型之间斑块总面积 CA 的标准差最大, 表明各景观类型的面积不平衡。裸滩的面积最大, 为 326.09 km², 是研究区的主导景观类型, 具有景观基底性质; 其次为自然植被, 面积为 136.04 km²; 面积最小的景观类型为油田用地, 仅为 2.20 km²; 人工栽培植被、河流、潮沟和裸地的面积基本一致, 约为 18.00 km²。各个景观类

表 1 各景观类型与面积和结构特征相关的景观指数值

Tab. 1 The value of landscape indices related to the area and structure characteristic

景观指数	自然植被	人工栽培植被	河流	坑塘	潮沟	裸滩	裸地	油田用地	道路	标准差
CA(km ²)	136.04	18.64	18.28	66.02	16.54	326.09	19.64	2.20	2.77	99.84
NP(个)	216	10	1	88	192	111	70	281	55	90.72
ED(m/km ²)	1624.07	79.52	122.31	480.90	1540.19	2206.32	284.61	173.59	754.81	741.20
Area-mn(km ²)	0.63	1.86	18.23	0.75	0.09	2.93	0.28	0.0078	0.05	5.55

型面积的大小顺序为：裸滩>自然植被>坑塘>裸地>人工栽培植被>河流>潮沟>道路>油田用地。在研究区内，具有自然属性的景观类型约占景观总面积的82%，人工化的景观类型所占面积较小，表明人工栽种和建筑在景观面积上没有表现出大量侵占黄河口湿地的态势。

各景观类型的斑块数也很不均衡，油田用地的斑块数最多，共 281 个斑块；其次为自然植被，共 216 个斑块；河流的斑块数最少，只有 1 个。各景观类型的斑块个数顺序为：油田用地>自然植被>潮沟>裸滩>坑塘>裸地>道路>人工栽培植被>河流。通常情况下，分布面积较大的景观类型所拥有的斑块数也较多，如自然植被、裸滩等；而潮沟和油田用地的面积较小，但拥有的斑块数却较多，表现出明显的破碎化。裸滩的面积远大于自然植被，而斑块数却比自然植被少，主要是由于因石油开采和旅游修建的道路将原本大的自然植被斑块切割为若干个小的斑块。虽然潮沟对裸滩也具有一定的切割作用，但切割作用远小于道路，要将大的裸滩斑块切割成小的斑块需要一个长期的过程。

各景观类型之间边界密度的差异较斑块面积和斑块个数有所减小。裸滩的边界密度最大，为 2206.78 m/ km²；人工栽培植被的边界密度最小，为 79.64 m/ km²。各景观类型边界密度的顺序为：裸滩>自然植被>潮沟>道路>坑塘>裸地>油田用地>河流>人工栽培植被。由于景观总面积一定，边界密度指标实际上揭示了各景观类型周长的规律。自然景观的斑块边界多表现为复杂不规则，边界密度相对较高；油田用地、人工栽培植被等人工景观类型的斑块形状较规则，边界密度相对较低。除景观类型面积最大、斑块数目较多外，裸滩边界密度最大的另一个主要原因是，潮沟对裸滩的冲刷和侵蚀，导致裸滩与潮沟相接的边界极其不规则，在很大程度上增加了裸滩的边界长度，这与潮沟景观类型的面积较小而

边界密度较大的原因是一致的。

各景观类型之间平均斑块面积也有较大的差异，河流的平均斑块面积最大，为 18.23 km²；油田用地的平均斑块面积最小，为 0.0078 km²。各景观类型平均斑块面积的顺序为河流>裸滩>人工栽培植被>坑塘>自然植被>裸地>潮沟>道路>油田用地。除位于研究区边界的人工栽培植被外，总体趋势是自然景观的平均斑块面积大于人工景观。河流景观类型在研究区内仅有 1 个斑块，其平均斑块面积就等于河流的景观类型面积，使得河流的平均斑块面积最大。潮沟、道路和油田用地的平均斑块面积较小，表明破碎化程度较高。油田用地的景观类型面积和平均斑块面积都最小，但斑块数众多，石油在开采、储存、运输及其他生产过程中产生的污染物会对油井周围环境中的植被生长造成一定的影响，并最终导致景观格局的变化。

3.2 景观类型的形状特征

采用周长面积比 PARA_MN 分析黄河口湿地各景观类型的形状特征。可以看出(表 2)，各景观类型的周长面积比差异非常大。潮沟的周长面积比最大，其次为裸滩，河流的周长面积比最小。各景观类型周长面积比的顺序为：潮沟>裸滩>坑塘>道路>自然植被>裸地>人工栽培植被>油田用地>河流。潮沟的景观类型面积不大，但斑块曲折复杂的树枝状结构导致其具有最大周长面积比；人工栽培植被、油田用地和裸地的斑块形状简单，周长面积比相对较小。

3.3 景观类型的聚集特征

采用散布与并列指数 IJI 分析黄河口湿地各景观类型的聚集特征，IJI 能够表征各个斑块类型间的总体散布与并列状况。结果表明(表 3)，自然植被的指数值最高，为 84.82；潮沟的指数值最低，为 17.85。各景观类型 IJI 值的顺序为：自然植被>裸地>裸滩>坑塘>河流>油田用地>道路>人工栽培植被>潮沟。自

表 2 各景观类型的平均周长面积比指数值
Tab. 2 The value of landscape index PARA_MN

景观指数	自然植被	人工植被	河流	坑塘	潮沟	裸滩	裸地	油田用地	道路	标准差
PARA_MN	3050.27	1787.33	42	3641.26	11995.64	9654.21	1967.15	850.51	3057	4068.68

表 3 各景观类型的散布与并列指数值
Tab. 3 The value of landscape index IJI

景观指数	自然植被	人工植被	河流	坑塘	潮沟	裸滩	裸地	油田用地	道路	标准差
IJI	84.82	33.88	51.02	55.48	17.85	55.85	56.31	49.58	48.69	18.07

然植被、裸地等与其他景观类型相互混杂分布，而人工栽培植被和潮沟等斑块分布相对独立，与斑块边界相邻接的景观类型较少。

3.4 景观的多样性特征

多样性指数是对土地利用类型的多样性和复杂性的度量，而均匀度指数则是对不同土地利用类型分配均匀程度的描述。作者采用香农多样性指数 SHDI 和香农均匀度指数 SHEI 来分析研究景观的多样性特征。研究结果显示，黄河口湿地研究区的香农多样性指数 SHDI 为 1.38，说明该研究区内景观类型较丰富；香农均匀度指数 SHEI 为 0.60，说明景观优势度较高，这主要是受裸滩和自然植被两种优势景观类型的影响。

4 黄河口湿地景观格局空间尺度效应

4.1 景观类型的面积和结构特征对空间粒度的响应

图 2 是景观类型的斑块面积、斑块个数、边界密度和平均斑块面积 4 个景观指数随空间粒度的变化趋势。可以看出，各景观类型的斑块面积随着粒度的增大没有发生明显的变化，表明各景观类型的面积对粒度的变化并不敏感。

景观类型的斑块个数表现出对粒度变化的强敏感性。随着粒度的增大，斑块数量都表现出先增大后减小的趋势，但各景观类型斑块数量最大时的空间粒度有较大差异。潮沟景观和道路景观对粒度的变化最为敏感，在 2.5 m~10 m 粒度范围内，斑块数量随着粒度的增大而急剧增大，在 10 m~200 m 粒度范围内，斑块数量则随着粒度的增大急剧减小。潮沟和道路多为条状斑块，粒度增大会导致条状斑块断裂，形状破碎，斑块数量增多；粒度进一步增大时，破碎的小斑块融入到作为基底的大斑块中，导致斑块数量下降。

裸滩、潮沟、自然植被和道路等景观类型的边缘密度对粒度较为敏感，其边缘密度在粒度大于 10 m 后急剧下降。裸滩、潮沟以及自然植被为自然景观，受人为干扰较少，斑块边界不规则，依据高分辨率影像解译的景观斑块，其边缘与真实的斑块边缘更为相似，随着尺度的增大，边缘中的锯齿或毛刺逐渐被合并，导致边缘密度的降低。在小于 10 m 的粒度范围内，裸滩、潮沟和自然植被的边缘密度没有明显的变化，说明 10 m 可能是能够较为真实地解译出 3 种景观类型边缘的遥感影像的最低空间分辨率。道

路的边界虽然规则，但属于长条状斑块，在粒度大于其宽度后，道路斑块会被邻近斑块合并，导致边缘密度降低。河流和人工栽培植被的斑块形状规则，其边缘密度没有表现出对粒度较强的敏感性，在整个粒度范围内，边缘密度值相对稳定。

裸滩、自然植被、坑塘、人工栽培植被和油田用地的平均斑块面积随着粒度的增大而增大，其中裸滩的增长最为显著，其值随着粒度的增大近似呈指数增长，最大增长速率点 50 m 粒度附近；潮沟、道路和坑塘的平均斑块面积则随着粒度的增大呈现先降低后增大的趋势。由于各景观类型的斑块总面积随着空间粒度的增大没有发生明显的变化，因此平均斑块面积的变化趋势与斑块个数的变化趋势相反。

4.2 景观类型的形状特征对空间粒度的响应

图 3 是各景观类型的斑块平均周长面积比随空间粒度的变化趋势。裸滩、潮沟、自然植被、坑塘、裸地、油田用地和人工栽培植被的周长面积比都随着粒度的增大而减小，其中以潮沟和裸滩的变化趋势最为显著；道路的面积周长比以 5 m 粒度大小为界限，粒度小于 5 m 时，其值随粒度的增大而增大，粒度大于 5 m 时，其值随粒度的增大呈幂指数下降；河流的周长面积比没有明显的变化。空间粒度增大，景观斑块的边界变得更为平滑，复杂度降低，这种变化尤以裸滩、潮沟等边界极不规则的斑块最为明显；而河流和人工景观的斑块相对规则，空间粒度变化对其斑块形状的影响不大。

4.3 景观类型的聚集特征对空间粒度的响应

图 4 是研究区内各种景观类型的散布与并列指数随粒度的变化情况。从图中可以看出，各景观类型的散布与并列指数对粒度变化的响应不同，在粒度小于 10 m 时，其值较为平稳，粒度大于 10 m 时，其值随着粒度的变化没有表现出明显地规律性。其中，自然植被的散布与并列指数值最大，其值随着粒度的增大有减小的趋势。裸滩、坑塘、道路、河流、油田用地和裸地在粒度小于 10 m 时的散布与并列指数值相近，粒度大于 10 m 时，随着粒度的增大，裸滩的散布与并列指数值有较小的上升，裸地的散布与并列指数值有较小的下降，坑塘和河流的散布与并列指数值没有明显地变化，道路的散布与并列指数值先增大后减小，油田用地的散布与并列指数值先降低后增大。人工栽培植被和潮沟的散布与并列指数值较小，其值随粒度的变化呈波动性变化。总体来说，各景观类型的散布与并列指数随着空间粒

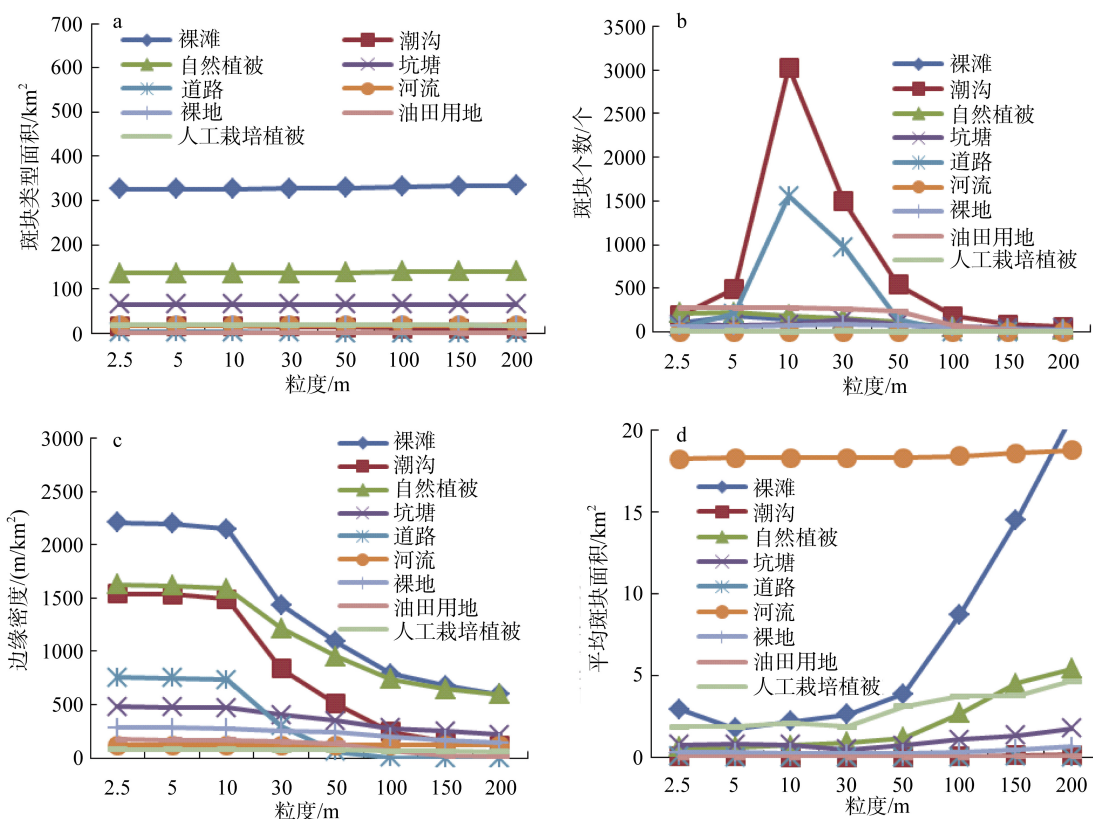


图 2 与面积和结构特征相关的景观指数对空间粒度的响应

Fig. 2 The response of landscape indices related to area and structure characteristics to spatial grain

a 为斑块类型面积; b 为斑块个数; c 为边缘密度; d 为平均斑块面积

a is the landscape index of CA; b is the landscape index of NP; c is the landscape index of ED; d is the landscape index of AREA_MN

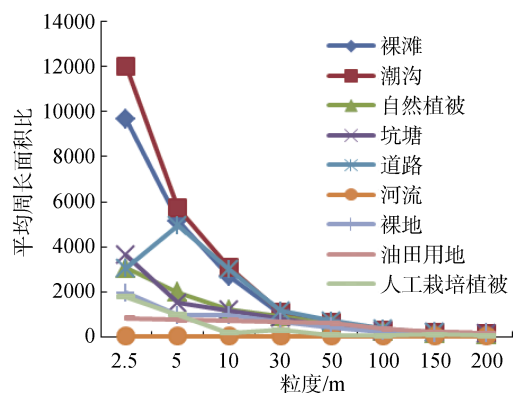


图 3 平均周长面积比对空间粒度的响应

Fig. 3 The response of PARA_MN to spatial grain

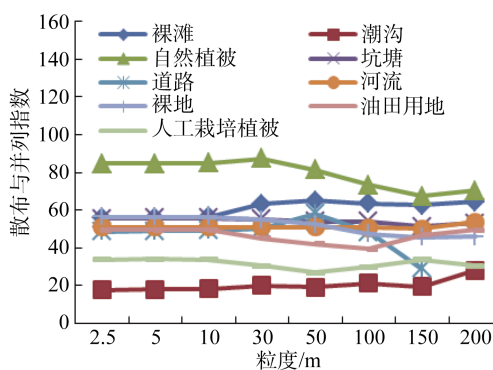


图 4 散布与并列指数对空间粒度的响应

Fig. 4 The response of IJI to spatial grain

度的增大没有出现较为剧烈的变化, 表明空间粒度对景观类型聚集特征没有显著的影响。

4.4 景观多样性特征对空间粒度的响应

表 4 是景观香农多样性指数 SHDI 和香农均匀度指数 SHEI 对空间粒度变化的响应。从表中可以看出, SHDI 和 SHEI 随着粒度的变化趋势基本一

致, 都随着粒度的增大而减小, 但变化幅度很小。这是因为多样性指数和均匀度指数主要取决于景观类型的数量和所占的面积比例, 研究区的空间粒度增大到 200m 时, 虽然道路消失, 但由于所占面积很小, 并没有使其他景观类型的面积比例发生大的变化, 因此多样性指数和均匀度指数随着空间粒度的变化相对稳定。如果空间粒度继续增大, 各景

表 4 香农多样性指数和均匀度指数对空间粒度的响应

Tab. 4 The value of landscape indices of SHDI and SHEI with the changes of grain

粒度(m)	2.5	5	10	30	50	100	150	200
SHDI	1.38	1.38	1.38	1.37	1.35	1.33	1.32	1.31
SHEI	0.60	0.60	0.60	0.59	0.59	0.58	0.57	0.59

观类型会逐渐消失,多样性和均匀度指数必然持续下降。多样性和均匀度指数相对空间粒度的缓慢变化说明了研究区的景观多样性特征对粒度的变化不敏感。

5 结论

作者利用高分辨率的“资源三号”卫星遥感影像,选取8种具有代表性的景观指数,分析了黄河口湿地的景观格局,以及空间粒度对黄河口湿地景观格局分析的影响。研究区内,各景观类型的斑块面积极不均衡,裸滩和自然植被是研究区的优势景观。油田用地的斑块数最多,而潮沟的冲刷和侵蚀,使裸滩具有最大的边缘密度。总的来说,黄河口湿地目前以裸滩和自然植被等自然景观为主,滩涂上潮沟发育,人工景观在面积上没有表现出大量侵占黄河口湿地的态势。虽然如此,因旅游和石油开采修建道路所导致的景观破碎化已非常明显。研究区内油井散布、数量众多,虽然斑块面积较小,但石油在开采、储存、运输及其他生产过程中产生的污染物会对油井周围一定范围内的土壤和植被造成影响。

研究区的景观格局分析结果具有强的尺度依赖性,不同的景观指数对空间粒度变化的敏感性不同,即使同一种景观指数,由于景观类型的不同,对空间粒度的敏感程度也有较大差异。总的来说,景观类型的面积和结构特征中的斑块个数、边缘密度、平均斑块面积具有明显的尺度效应,斑块面积则相对稳定;景观类型的形状特征表现出对空间粒度强的敏感性,而聚集特征则随着空间粒度的增大没有规律性的变化;景观的多样性特征随空间粒度的变化极为缓慢,对粒度变化的敏感性相对较弱。对于不同的景观类型,斑块为条状结构或斑块边界不规则的景观类型对空间粒度有较强的响应,而斑块形状相对规则的景观类型的尺度效应不明显。综上,空间粒度的变化对黄河口湿地景观格局分析结果有明显的影响,因此在进行景观格局评价和分析时,需要考虑尺度效应,依据空间粒度对不同景观类型和景观指数值的影响,选取合适的尺度推演方法,对数据进行一定的尺度转换。

参考文献:

- [1] 邬建国. 景观生态学—格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [2] 王春连, 张镭, 王兆锋, 等. 拉萨河流域湿地系统景观格局多尺度分析[J]. 资源科学, 2010, 32(9): 1634-1642.
- [3] Wu J, Jelinski D E, Luck M, et al. Multiscale analysis of landscape heterogeneity: scale variance and pattern metrics [J]. *Geographic Inform Sciences*, 2000, 6(1): 6-19.
- [4] Wu J, Qi Y. Dealing with scale in landscape analysis: an overview [J]. *Geographic Information Sciences*, 2000, 6(1): 1-5.
- [5] 徐建华, 岳文泽, 谈文琦. 城市景观格局尺度效应的空间统计规律—以上海中心城市为例[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 1058-1067.
- [6] 薛冬冬, 余光辉, 温小荣, 等. 基于地统计分析的南京钟山风景区景观格局尺度效应分析[J]. 西南林业大学学报, 2012, 32(1): 30-35.
- [7] 王丽荣, 赵焕庭. 中国河口湿地的一般特点[J]. 海洋通报, 2000, 19(5): 47-54.
- [8] 黄海军, 樊辉. 黄河三角洲潮滩潮沟近期变化遥感监测[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 723-730.
- [9] 刘艳芬, 张杰, 马毅, 等. 1995-1999年黄河三角洲东部自然保护区湿地景观格局变化[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2904-2911.
- [10] 王永丽, 于君宝, 董洪芳, 等. 黄河三角洲滨海湿地的景观格局空间演变分析[J]. 地理科学, 2012, 32(6): 717-724.
- [11] 郭笃发. 黄河三角洲滨海湿地土地覆被和景观格局的变化[J]. 生态学杂志, 2005, 24(8): 907-912.
- [12] 李东颖, 杨文波, 王琳, 等. 基于RS数据的黄河三角洲湿地信息提取及湿地动态变化研究[J]. 海洋湖沼通报, 2012, 1: 100-109.
- [13] 宗秀影, 高焕, 乔玉良, 等. 黄河三角洲湿地景观格局动态变化分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(1): 91-97.

- [14] 王海梅, 李政海, 韩国栋, 等. 黄河三角洲土地利用及景观格局的动态分析[J]. 水土保持通报, 2007, 27(1): 81-85.
- [15] 邵秋玲, 解小丁, 李法曾. 黄河三角洲国家级自然保护区植被区系研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(4): 947-951.
- [16] 张秋菊, 傅伯杰, 陈立顶. 关于景观格局演变研究的几个问题[J]. 地理科学, 2003, 23(3): 264-270.
- [17] 陈菁, 傅新, 刘高焕. 黄河三角洲景观变化中认为影响力的时空分异[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 134-138.
- [18] Zhang S, Zhang J, Li F, et al. Vector analysis theory on landscape pattern(VATLP)[J]. Ecological Modelling, 2006, 193: 492-502.
- [19] Wu J. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations [J]. Landscape Ecology, 2004, 19: 125-138.
- [20] Shen W, Jenerette G D, Wu J, et al. Evaluating empirical scaling relations of pattern metrics with simulated landscapes [J]. Ecography, 2004, 27: 459-469.
- [21] Buyantuyev A, Wu J. Effects of thematic resolution on landscape pattern analysis [J]. Landscape Ecology, 2007, 22: 7-13.
- [22] Riitters K H, O'Neill R V, Hunsaker C T. et al. A factor analysis of landscape pattern and structure metric [J]. Landscape Ecology, 1995, 10: 23-39.
- [23] Traub B, Kleinn C. Measuring fragmentation and structural diversity[J]. Forstw Centralblatt, 1999, 118: 39-50.
- [24] 布仁仓, 胡远满, 常禹, 等. 景观指数之间的相关分析[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2764-2775.
- [25] 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.
- [26] 布仁仓, 李秀珍, 胡远满, 等. 尺度分析对景观格局指标的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2181-2186.
- [27] 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): 123-134.

Landscape pattern and scale effect of Yellow River Estuarine wetland based on ZY-3 Satellite

XIAO Yan-fang, ZHANG Jie, MA Yi, WANG Jian-bu

(First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Received: Oct., 11, 2014

Key words: Yellow River estuarine wetland; landscape indices; landscape pattern; scale effect

Abstract: Based on the resource-3 (ZY-3) satellite remote sensing image with high spatial resolution, eight widely used landscape indices were selected to analyze the landscape pattern of Yellow River estuarine wetland in the landscape characteristics of area and structure, shape, aggregation and diversity. The grain effect on landscape pattern was also discussed in this paper. The results show that the landscape pattern of Yellow River estuarine wetland is remained predominantly natural landscape of nude beach and un-artificial vegetation. Tidal creeks are widely spreaded in tidal flat. A large number of oil wells are distributed separately in the research area, and the landscape fragmentation caused by road has become clear. The landscape pattern of Yellow River estuarine wetland highly depends on the spatial scale. For the landscape characteristic of area and structure, patch number, edge density, and mean patch area have obvious scale effects, and no visible effect on patch area. The shape characteristic is higher sensitive to the changes of grain than the diversity characteristic, and the aggregation doesn't show regular response to the grain changes.

(本文编辑: 谭雪静)