

DOI: 10.5846/stxb201412102450

欧维新,甘玉婷婷.耦合种群动态的生境格局变化分析粒度与景观因子选择——以盐城越冬丹顶鹤及其生境的变化为例.生态学报,2016,36(10): - .

Ou W X, Gan Y T T. Grain size and landscape indices selection by coupling population dynamics and habitat pattern analysis: A case study of wintering Red-crowned crane and its habitat in Yancheng. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(10): - .

耦合种群动态的生境格局变化分析粒度与景观因子选择

——以盐城越冬丹顶鹤及其生境的变化为例

欧维新^{1,2,*}, 甘玉婷婷¹

¹ 南京农业大学 土地管理学院, 南京 210095

² 农村土地资源利用与整治国家地方联合工程研究中心, 南京 210095

摘要: 本文选择盐城珍禽国家级自然保护区, 以丹顶鹤越冬生境景观与种群动态这一格局-过程关系为切入点, 尝试从丹顶鹤最小存活面积特征与种群动态视角探讨一下最佳粒度、景观格局变化分析的指数遴选方法。结果发现: 根据丹顶鹤最小生存面积我们确定 200m 为最大转换粒度, 综合景观指数随空间粒度变化的规律和粒度转换精度损失评价的结果, 确定最佳分析粒度为 70m。本文在众多景观因子中, 运用 Spearman 秩相关分析, 再利用逐步回归分析建立起景观与丹顶鹤数量指标间的联系, 最终筛选出反映景观面积 (CA) 和空间格局 (IJI, ENN_MN) 的三种影响显著景观因子, 其解释贡献率 (累计 R^2) 达到 70.5%, 且其所代表的生境景观的组成和结构信息较为客观地反映出研究区丹顶鹤种群动态分布的显示状态。与纯粹的景观指数分析相比, 这种方法更能反应景观格局演变特征的特定生态学意义。

关键词: 粒度效应; 景观指数; 生态过程; 景观格局变化; 越冬丹顶鹤生境

Grain size and landscape indices selection by coupling population dynamics and habitat pattern analysis: A case study of wintering Red-crowned crane and its habitat in Yancheng

OU Weixin^{1,2,*}, GAN Yutingting¹

¹ College of Land Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

² National & Local Joint Engineering, Research Center for Rural Land Resources Use and Consolidation, Nanjing 210095, China

Abstract: Landscape pattern is scale-dependent. Thus, understanding landscape structure and functioning requires multiscale information. Scaling functions are the most precise and concise methods for explicitly quantifying multiscale characteristics. If landscape indices are ecologically relevant and reflect important attributes of spatial pattern, they can functionally link the dynamics of ecological processes to landscape structure. Therefore, the selection of appropriate scale (e.g., grain size) and landscape indices are critical to landscape pattern analysis. The major objective of this study was to explore how optimal grain size and landscape indices can be selected for landscape pattern analysis, to improve our understanding and prediction of ecological processes. For this, we conducted a case study on wintering Red-crowned crane and its habitat in Yancheng. To obtain the optimal grain size for landscape pattern analysis of the wintering habitat of the Red-crowned crane, we followed two steps. The first step was scale (grain) effect analysis, to find a grain size that the test

基金项目: 江苏省青蓝工程项目

收稿日期: 2014-12-10; 网络出版日期: 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wxounj@163.com

metrics could detect in case of any variation (sensitivity). In this step, the minimum survival area for the species was considered for identifying the maximum grain size for scaling. The second step was accuracy test by evaluating the loss of landscape area and patch numbers in each grain size level. The optimal grain size was obtained by integrated analysis of the results from the above two steps. In landscape indices selection, 19 landscape metrics (computed at the optimal grain size) were subjected to Spearman rank correlation analysis to assess the independence. Then, step-wise regressions were performed to evaluate the effects of the spatial attributes (landscape indices with higher independence) at three hotspots on the abundance of cranes (based on population dynamics of the past 12 years^[1]). Variables with significance level above 90% were selected as the optimal landscape indices for pattern analysis.

The results showed the following: (1) on the basis of the minimum survival area of the red-crowned crane, 200 m was the highest obtained grain size, and 70 m was the optimal grain size identified by integrating the results of scale (grain) effect and accuracy after assessing the grain conversion area loss. (2) Effects of landscape patterns at the hotspots were analyzed using 8 pairs of landscape indices (results of metrics for the most suitable and supplement habitat types for cranes were computed) as the independent variables. Three landscape indices (CA, IJI, ENN_MN) of two habitat types were found to be significant ($R^2 = 70.5\%$). (3) The selected optimal landscape indices of the supplement habitat showed positive effect for isolation and negative effect for area size on population abundance. Our results imply that supplement habitat may provide complementary resource sites for cranes, but continued species concentration at these habitats may negatively affect crane abundance and distribution due to induced human disturbance. Our combined findings on optimal grain size and landscape indices proved to be satisfactory for landscape pattern analysis, suggesting that our approaches are reasonable. Further, compared to landscape pattern analysis by using random grain size and simple landscape metrics, the results obtained using our approaches, as shown in this case study, are ecological relevant.

Key Words: grain effect; metrics; ecological process; landscape pattern change; wintering red-crowned crane habitat

基于景观生态学理论的景观格局动态变化分析是当前研究珍稀物种生境保护的主要方法之一^[1-4]。景观指数以其具有反映景观各要素的结构和空间配置信息而得以广泛应用^[5]。在用于真实刻画景观格局变化及其生态过程,景观指数的通常需考虑三个方面,即选择合适的研究分析尺度,如一定空间幅度下如何选择与特定生态过程关联的景观粒度水平;指数间需满足统计上的相互独立性;所选指数对所研究的生态过程具有很好的敏感性或指示性。

粒度是指最小可辨识单元所代表的特征长度、面积或体积(如样方、像元)^[6]。进行景观格局与生态过程分析时,如果粒度过小,会造成区域空间信息数据量过大而掩盖一些重要信息;如果粒度过大,则又造成关键细节信息的缺失^[7],已有的研究表明,随着粒度的粗化,不同的景观类型会有不同的响应结果,景观格局的最佳分析粒度指的是针对某一景观类型分析的最合适尺度^[8]。故最佳粒度因能真实地反映生境类型景观的生态特征而显得尤为重要。由于景观指数具有明显的尺度依赖性^[9],粒度效应研究具有确定景观指数随空间粒度变化临界阈值、辨明景观指数的反应敏感性等作用^[10-11],因而粒度效应分析可以作为遴选景观最佳分析粒度与敏感性指数的可靠方法。由于景观指数众多且多数极具高度相关性,随意地指数选择易造成指数间的冗余。因此,景观格局指数选择时的相关性研究已成为必须的环节。目前对该方面的研究已有不少,但更多地仅限于研究景观指数本身的相关性考察^[12-13],结合特定生态过程进行指数的遴选研究相对较少。

本文选择盐城珍禽国家级自然保护区,以丹顶鹤越冬生境及其种群动态这一格局-过程关系为切入点,尝试探讨一下最佳粒度、景观格局变化分析的指数遴选方法。

1 研究区域

1.1 研究区域概况

本文的研究区为盐城珍禽国家级自然保护区的核心区与缓冲区,由三个越冬丹顶鹤热点小区组成(图

1), 该区地处江苏中部沿海, 太平洋西海岸, 北至黄沙港, 南至四卯西河, 西接海堤, 为淤涨型潮滩湿地, 总面积有 $87 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。其中核心区为保存最为完好的原生滩涂湿地, 其南北两侧的缓冲区有较多的人类开发活动, 保护与开发的矛盾最为突出。研究区拥有芦苇湿地、碱蓬湿地、米草湿地、淤泥光滩、养殖水域等湿地类型, 每年有数百万计水禽在此栖息或越冬, 来盐城越冬的丹顶鹤数量占世界种群的一半以上^[14], 其中, 80%左右的丹顶鹤集中在研究区越冬栖息。研究区因保留了大片原生生境使其成为丹顶鹤越冬栖息的关键地段, 而人类围垦开发活动使缓冲区生境景观变化剧烈进而对丹顶鹤栖息条件造成很大影响。因此, 该区景观尺度变化、景观格局变化等特征在响应丹顶鹤的种群动态具有典型性。

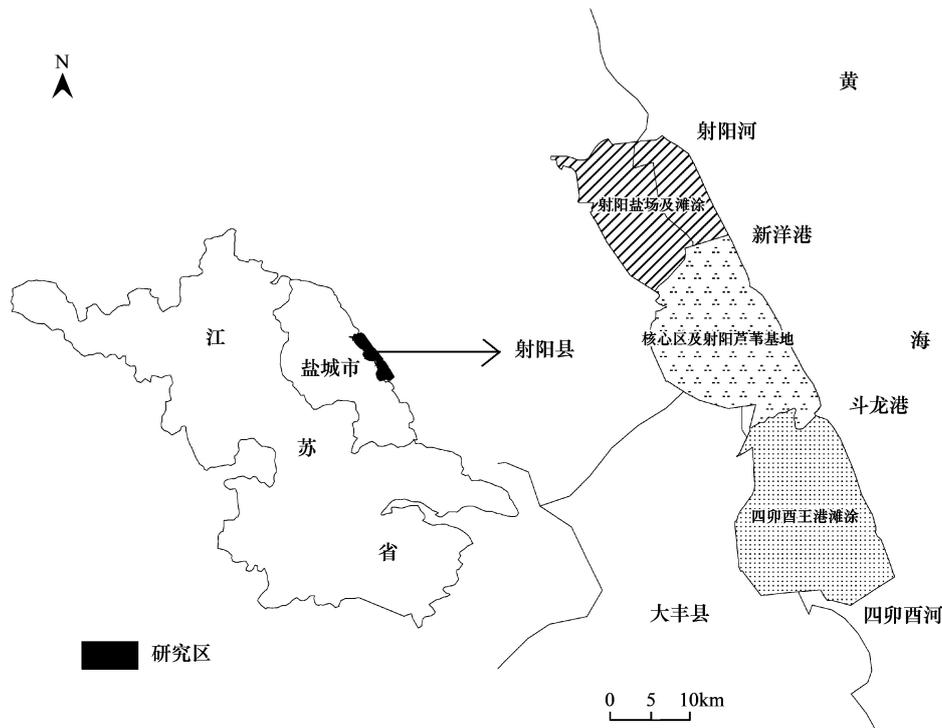


图 1 研究区位置示意图

Fig.1 Location and scope of the study area

1.2 数据来源与处理

利用 1991—1992 年、1995 年、1997 年、1999—2006 年、2010 年轨道号为 119/037、120/036 共计 13 期 TM 影像作为基础数据, 运用 ENVI4.8 软件进行几何校正、影像拼接、影像裁剪等预处理后, 得到研究区遥感图。采用分区分类的方法依据海岸带将研究区划分为陆地和海滩部分, 对于陆地部分, 本研究采用最大似然法, 对影像进行监督分类, 提取研究区土地利用类型特征, 在 ARCGIS 中将研究区划分为 9 类, 分别是耕地、建筑用地、米草湿地、河流水域、淤泥光滩、芦苇白茅湿地、碱蓬湿地、水产养殖塘、盐田。根据丹顶鹤在盐城越冬的习性特征(即它们通常喜欢在芦苇和碱蓬地栖息, 偶尔会到盐田和水塘去觅食, 但会回避淤泥光滩、互花米草、道路、河流和居民点等一些人类活动频繁的地方), 结合丹顶鹤越冬生境适宜性特征及已有成果^[15-16], 本文将研究区地类进一步归并为越冬丹顶鹤的适宜生境(包括芦苇白茅湿地、碱蓬湿地)、补充生境(包括水产养殖塘、盐田)、非生境(其他利用与覆被类型)三大景观类型^[17]。

1991—2006 年间研究区所含的三个丹顶鹤越冬栖息热点地区(核心区及射阳芦苇基地、射阳盐场及滩涂、四卯西王港滩涂)中的丹顶鹤数据, 来源于江苏盐城国家级珍禽自然保护区管理局、中国林科院鸟类环志中心共同开展的丹顶鹤越冬数量监测区调查结果^[18]。本文只选择了与可获的遥感影像数据相应年份的 12 期丹顶鹤数据。

2 研究方法

本研究旨在结合丹顶鹤最小存活面积及种群动态等生态特征来考察丹顶鹤越冬生境分析的最佳粒度及适宜景观指数。为此,研究拟采用粒度效应分析与粒度转化的精度损失分析来确定最佳粒度;适宜景观指数则结合景观因子的独立性分析方法与基于种群动态与格局因子的逐步回归分析方法来遴选。具体方法包括:

2.1 最佳粒度的确定方法

根据文献可知,7.8 km²的生境区域是丹顶鹤生存的最小需求面积^[19-20],即丹顶鹤单个生存的生境斑块的直径必须达到 200m。为获得最佳分析粒度,利用重采样的方法,将 2006 年景观类型图进行栅格像元的聚合,栅格单元的赋值采用最大面积值法(RMA)。以 30m—200m 为粒度转换的考察区间,每 10m 为粒度增幅,划分并生成 18 幅不同粒度水平的栅格图。

由于 area/density/edge 等方面的指数随粒度的变化比较敏感,且有明显拐点,其粒度效应方程通常呈现简单线性或对数函数^[21],因而选取平均斑块面积(AREA_MN)、斑块数量(NP)、边界总长度(TE)、边界密度(ED)、周长面积比分维数(PAFPAC)、面积加权平均分维数六个代表指数,计算并比较各指数的粒度拐点。同时,考虑到矢量数据的栅格化过程中存在着面积等方面的精度损失^[22],本文以景观斑块面积与斑块数量为对象,分析比较不同粒度水平下的整体精度损失。

不同粒度水平下的精度损失计算公式如下^[23]:

$$E = \sum_{i=1}^n |A_{gi} - A_{bi}| \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$L = |100 \times E/A_b| \quad (2)$$

式中,E 为某一评价指标损失量,L 表示损失精度, A_{gi} 为 i 类景观类型栅格数量或面积, A_{bi} 为 i 类景观类型矢量斑块数量和面积, n 为景观类型个数。

2.2 景观因子筛选方法

从景观面积\周长\密度、形状、隔离与破碎化程度方面选择 19 种常用景观指数,为丹顶鹤生境景观格局演变分析提供关键性的景观指标,运用相关分析进行因子筛选:

(1)用 spearman 等级相关分析对所有指数进行两两之间的相关分析,检测指数间的独立性,选择独立性较强的指数;

(2)为遴选对丹顶鹤分布有重要影响的关键生境景观因子,采用逐步回归方法建立 12 年三个热点地区的丹顶鹤分布数据^[15]与景观因子的联系,剔除独立性差且和数量变化相关性小的指数,获得反映丹顶鹤生境格局变化的主要指数。需要说明一下的是,为了消除世界种群数量动态对盐城丹顶鹤种群数量的影响,本文将所涉三个热点小区每年来越冬的丹顶鹤绝对数量转化为相对数量,即用当年每个小区丹顶鹤数量与三个小区丹顶鹤总量的比值来表示。以上分析均在 SPSS 软件中进行。

3 结果与分析

3.1 丹顶鹤越冬生境景观格局最佳粒度的确定

3.1.1 景观指数粒度效应的分析

根据粒度效应图(图 2)可知,随着粒度变大,六个景观指数的响应曲线大致分为两种情况。第一种情况:景观指数随粒度变化时拐点明显,在粒度从 40m 到 100m 的变化过程中,平均斑块面积出现了三次明显的波动变化,分别是 40—60m 时先增大后减小;60—80m 时先急剧上升再缓慢下降;80—100m 时先上升再急剧下降,后两次的变化幅度较大。而超过 100m 后,平均斑块面积逐渐平缓下降,变化幅度越来越小,最终趋于稳定,不再出现突变现象。这是由于粒度达到 100m 后,景观融合程度加强,各斑块面积也越来越均匀。在这过程中,变化明显的拐点为 40m、60m、70m、90m,对应的尺度域为(40, 60)、(60, 70)、(70, 90);与平均斑块面

表 1 用于相关分析的初选景观指数表

Table 1 The selected landscape metrics for related analysis

指数名称 The name of index	英文简称 English abbreviation	指数名称 The name of index	英文简称 English abbreviation
面积 Area	CA	周长面积分维数 Perimeter-area fractal dimension	PAFRAC
斑块数量 Patch number	NP	平均最近邻距离 Euclidean nearest neighbour distance	ENN_MN
斑块密度 Patch density	PD	散步与并列指数 Interspersion and juxtaposition index	IJI
最大斑块指数 Largest patch index	LPI	类相邻百分比 Percentage of like adjacencies	PLADJ
边界密度 Edge density	ED	景观隔离度 Landscape division index	DIVISION
景观形状指数 Landscape shape index	LSI	连接度 Connectance index	CONNECT
平均斑块面积 Mean patch area	AREA_MN	内聚度指数 Patch cohesion index	COHESION
平均回旋半径 Mean radius of gyration	GYRATE_MN	分割指数 Splitting index	SPLIT
平均形状指数 Mean shape index	SHAPE_MN	聚集度指数 Aggregation index	AI
平均周长面积比 Mean perimeter-area ratio	PARA_MN		

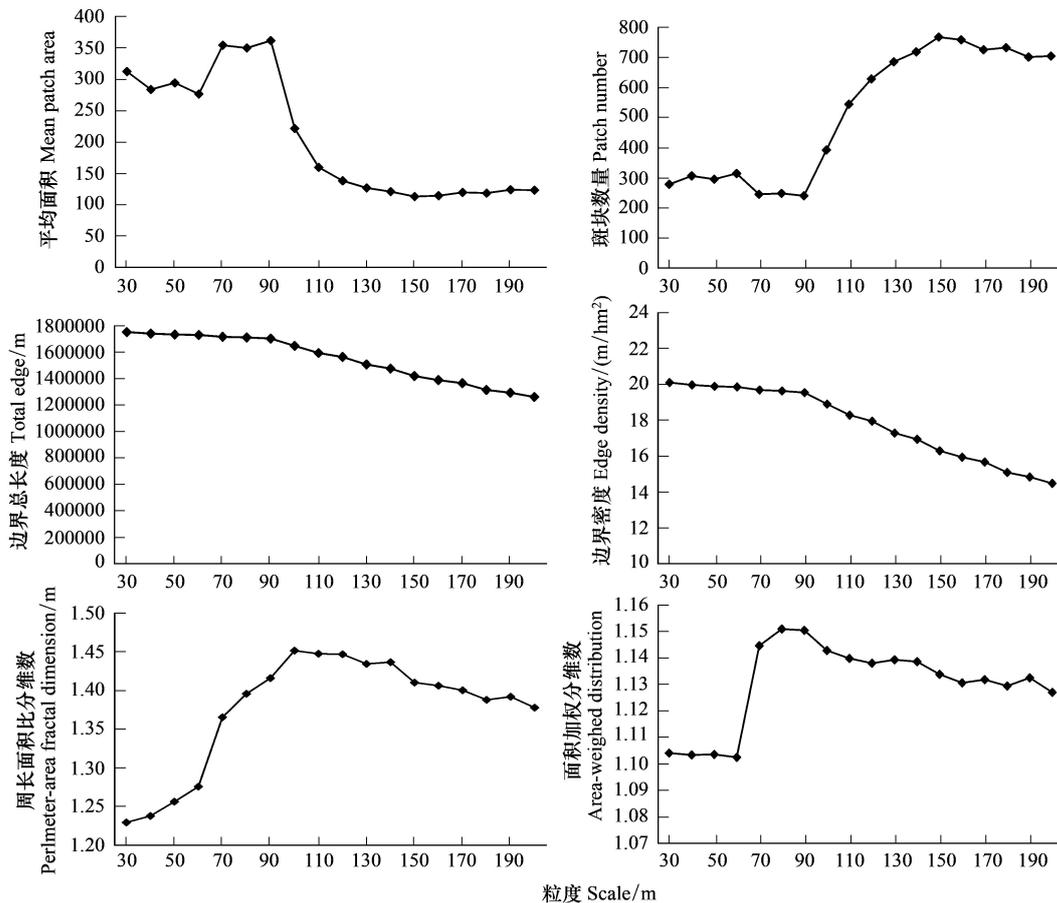


图 2 景观指数粒度效应图

Fig.2 Scale effect curves of landscape metrics

积的变化相比,斑块数量呈现相反的变化,而其波动幅度更小一些。在整个过程中,出现了两次较明显的上下波动,分别是在粒度为 50m—70m 和 80m—100m 时,其转折点为 60m、70m、90m,之后出现波动幅度较小,其转折点为 140m、180m。则对应的尺度域为(60,70)、(70,90)、(90,140)、(140,180);周长面积比分维数和面

积加权分维数随粒度的变化整体都是呈现速率逐渐增大的上升而后速率较小的下降趋势,前者几个明显的转折点出现在粒度为 90m、100m、130m、140m、180m,对应的尺度域为(90,100)、(100,130)、(130,140)、(140,180)。面积加权分维数的转折点出现在 60m、70m、120m、130m、170m、180m,对应的尺度域为(60,70)、(70,120)、(120,130)、(130,170)、(170,180)。

第二种情况:随粒度变化有规律,但拐点并不明显,主要是随着粒度的增大,总体都呈现递减的趋势的边界密度和边界总长度。递减的速率小于斑块数和平均斑块面积递减的速率。这说明粒度增大后,栅格单元的扩大使得一些优势地类受到道路、河流等的切割作用减小,形状更为规则,同时斑块边界的复杂程度的改变比面积数量的改变要慢。在递减过程中,边界密度出现了波动幅度较小的情况,是在粒度为 70—100m 时,其拐点为 70m、90m,其尺度域为(70,90)。边界总长度无数值上下波动的现象,则没有粒度转折点。

根据这些指数的粒度分异规律,综合分析可知变化明显的转折点多集中在 60m、70m、90m、140m、180m,所以对于整个研究区景观,尺度域是(60,70)、(70,90)、(90,140)、(140,180)。相关研究表明,景观指数随粒度变化的第一尺度域(前两个拐点)是景观格局中最具有比例尺的信息特征,也是粒度选择的适宜取值范围^[23],因此本研究区内适宜取值范围为(60,70)。

3.1.2 粒度转化精度损失分析

利用粒度大小作为横坐标,分别以损失面积、数量及损失精度为纵坐标得到精度损失曲线图。景观整体的面积损失在 30—50m,70—110m 变化平缓,而在 50—70m、110—200m 起伏较大;斑块数量损失在 30—100m 和 150—200m 变化平缓,在 110—150m 起伏较大,确定较小精度损失的粒度范围为(30,70)。

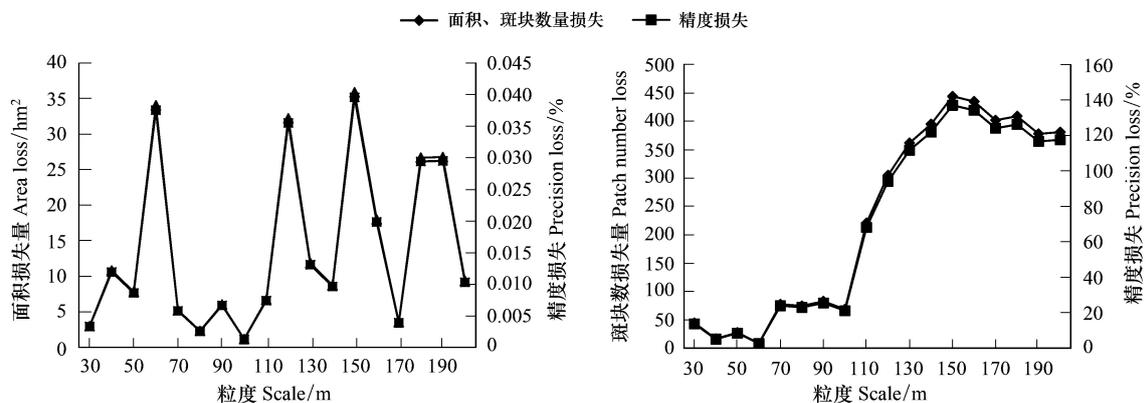


图3 不同粒度下各指标信息损失分析结果

Fig.3 The result of accuracy loss evaluating under different grain sizes

综上两种方法得到的粒度域,取交集得到(60,70)为最佳分析粒度范围,考虑到选择较大的粒度可以适当避免冗余的工作量,因此本文最终确定 70m 为盐城丹顶鹤自然保护区的最佳分析粒度。

3.2 景观指数选择

3.2.1 基于面积相关的指数剔除

在进行景观格局分析中,斑块面积已被公认为是最为主要的测度因子,因此首先进行景观指数与适宜生境面积的 Spearman 等级相关分析可以尽可能多地剔除冗余的指数。本文以适宜生境为对象,该类生境的相关景观指数相关分析结果表明(表 2),LPI、ED、LSI、AREA_MN、SHAPE_MN、PLADJ、DIVISION、COHESION、SPLIT、AI 等 10 个与面积变化相关性明显显著,故首先剔除这些指数。

3.2.2 基于独立性检验的指数剔除

对第一步筛选出来的 8 个指标,计算两种生境类型 8 对景观指数两两间的 Spearman 相关系数,进一步从独立性检验上来遴选,并得到 9 个相对独立的指标(表 3),即 PARA_MN_M、ENN_MN_M、IJI_M、CONNECT_M、PD_S、GYRATE_MN_S、ENN_MN_S、IJI_S、CONNECT_S。

表 2 景观指数与面积相关性情况表

Table 2 The correlation of area and landscape metrics

景观指数 Landscape index	与 CA 的相关系数及显著度 The correlation coefficient and the degree with CA	景观指数 Landscape index	与 CA 的相关系数及显著度 The correlation coefficient and the degree with CA
NP	-0.009	PARA_MN	0.194
PD	-0.001	PAFRAC	-0.269
LPI	0.982 **	ENN_MN	-0.275
ED	0.712 **	IJI	-0.253
LSI	-0.696 **	PLADJ	0.950 **
AREA_MN	0.852 **	DIVISION	-0.986 **
GYRATE_MN	0.359 *	CONNECT	0.346 *
SHAPE_MN	-0.453 **	COHESION	0.970 **
SPLIT	-0.986 **	AI	0.951 **

* 为 $P < 0.05$; ** 为 $P < 0.01$

表 3 9 个景观指数的 Spearman 秩相关系数矩阵

Table 3 The spearman rank coefficient matrix for 9 landscape metrics

指数 Index	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
U1	1.000								
U2	-0.328	1.000							
U3	-0.378 *	0.097	1.000						
U4	-0.194	0.016	-0.274	1.000					
U5	0.256	0.137	0.071	-0.346 *	1.000				
U6	-0.273	0.036	-0.039	0.174	-0.513 **	1.000			
U7	0.215	-0.440 **	-0.094	-0.041	-0.423 *	0.023	1.000		
U8	-0.370 *	-0.207	0.475 **	-0.110	-0.238	-0.027	0.316	1.000	
U9	-0.236	0.162	-0.304	0.289	-0.165	-0.014	-0.340 *	-0.176	1.000

U1、U2、U3、U4、U5、U6、U7、U8、U9 分别表示 PARA_MN_M、ENN_MN_M、IJI_M、CONNECT_M、PD_S、GYRATE_MN_S、ENN_MN_S、IJI_S、CONNECT_S; 其中“_M”表示适宜生境;“_S”表示补充生境

3.2.3 基于丹顶鹤种群动态与格局变化关系的指数遴选

以 12 期三个热点小区越冬丹顶鹤的相对数量为因变量,以上述分析获得的九个指数和生境面积 CA(包括适宜生境面积 CA_M 与补充生境面积 CA_S)为自变量,进行逐步回归分析,得到影响丹顶鹤数量动态变化的四个显著因子(表 4)。

从结果上看,两类生境景观中反映景观面积(CA)和空间格局(IJI, ENN_MN)的三种景观指数在解释丹顶鹤种群变化上具有显著影响效果,解释贡献率(累计 R^2)达到 70.5%。即这 4 个景观指数所代表的景观格局变化信息与越冬丹顶鹤种群动态分布特征显著相关,且越冬丹顶鹤种群动态及分布结果有 70.5%的信息可由这 4 个景观指数来解释。因此在分析丹顶鹤种群动态分析方面,这几个指数将是很好的预测变量。

表 4 逐步回归分析结果

Table 4 The results of stepwise regression analysis

模型 Model	引入变量 variation	R^2 改变值 Deviation value for R^2	Beta 值 Beta value	Sig.F
1	CA_S	0.372	-0.004	0.000
2	IJI_S	0.204	0.270	0.012
3	ENN_MN_S	0.087	0.009	0.007
4	IJI_M	0.042	0.328	0.045

生境面积是影响种群变化的最根本的原因,在丹顶鹤越冬适宜生境大面积减少的同时,被围垦开发利用的大量补充生境(养殖鱼塘、盐田)成为影响丹顶鹤数量种群数量变化的关键因素^[1-2]。表4中引入的4个因子中有三个都是与补充生境有关的。其中,CA_S与种群数量呈显著负相关,说明大规模的补充生境面积的增加尽管能为丹顶鹤补充一定的食物和水源,但因其提供的隐蔽条件不够好,再加上养殖、晒盐过程中所带来的人为干扰会对丹顶鹤的集聚造成不利影响。IJI_S与种群数量显著正相关、ENN_MN_S与种群数量显著正相关,前者说明被其他多种生境类型斑块(尤其是适宜生境)所毗连、包围的补充生境斑块能为丹顶鹤提供安全栖息场所,后者则指出离散分布的补充生境格局有利于丹顶鹤种群的集聚,这两个指数进一步从生境景观空间格局上反映了集中连片的补充生境不利于丹顶鹤栖息和集聚。IJI_M与种群数量显著正相关,说明现有适宜生境因为面积损失与破碎化的不断加剧过程中,其邻近补充生境能为丹顶鹤提供食物、水源等资源条件而有利于物种的集聚。因此,从引入的景观因子的生态学意义来看,其所代表的生境景观的组成和结构特征也很好解释了丹顶鹤种群动态这一生态过程。

4 结论与讨论

(1) 本文根据丹顶鹤最小存活面积确定200m为最大转换粒度,综合景观指数随空间粒度变化的规律和粒度转换精度损失评价的结果,得到研究区域适宜粒度域为60—70m,并确定最佳分析粒度为70m。尺度选择是景观格局研究分析的基础^[22-23],在适宜粒度下进行景观格局分析能够比较准确地表达研究区的景观特征概况。目前,通过景观指数粒度效应曲线分析确定最佳景观格局分析粒度的研究较为常见^[24-27],但考虑结合粒度转换中发生的某些信息损失评价方法确定最佳粒度并不多见。结合已有关于粒度效应的一些研究,本研究在粒度效应分析上,主要选用了随粒度变化具有明显规律、易解释、算式简便的面积\周长\密度等景观指数,可以较快地识别出粒度域,简化了分析粒度效应的程序。另外,粒度转换的精度损失研究中,但大多都只考虑转换过程中的景观面积损失,本文还增加了斑块数量评价。同时,本研究以丹顶鹤最小存活面积这一生态特征来确定最大转换粒度,这比当前大部分粒度效应研究中单纯考虑粒度大小的物理变化更具有生态学意义,也减少了粒度转换尺度选择的随意性。

(2) 丹顶鹤种群动态分布是生境景观格局的变化的直接响应,因此遴选并明确影响丹顶鹤数量分布的关键景观因子,有助于更好地理解景观格局与生态过程的关系。本文在众多景观因子中,运用Spearman秩相关分析,从整体上揭示景观指数的信息重叠;再利用逐步回归分析建立起景观与丹顶鹤数量指标间的联系,最终筛选出关键的景观因子。与纯粹的景观指数分析相比,这种方法更能反应景观格局的演变特征的特定生态学意义。

(3) 本文最终筛选出关键的4个影响显著景观因子,分别是两类生境景观中反应景观面积(CA)和空间格局(IJI, ENN_MN)的三种景观指数,解释贡献率(累计 R^2)达到70.5%,且其所代表的生境景观的组成和结构信息较为客观地反映了研究区丹顶鹤种群动态分布的显示状态。同时研究也表明:在丹顶鹤越冬适宜生境大面积减少和破碎化背景下,大量被围垦开发利用的补充生境(养殖鱼塘、盐田)已经成为影响丹顶鹤种群数量变化的关键因素;尽管补充生境能为丹顶鹤越冬栖息提供一定的食物和水源条件,但集中连片的补充生境不利于丹顶鹤栖息和集聚。

(4) 从本研究的实证来看,因为数据可获得性的限制,还有一些有待进一步深化完善的地方,比如,研究中采用的最大转换粒度是根据丹顶鹤繁殖地的最小存活面积,但研究区是丹顶鹤用于觅食和夜栖的越冬地,它们在盐城的繁殖领域性不明显,但由于当前仍缺乏这方面的研究结果,因而采用这个数据来替代。但应该指出的是,本研究尝试如何把生态过程或生态特征与粒度、格局等更好地结合起来,更多地是从方法上来探讨景观格局分析中粒度和景观指数选择问题,这对今后的景观格局分析研究还是具有一定的理论参考价值。

参考文献 (References):

- [1] 张曼胤. 江苏盐城滨海湿地景观变化及其对丹顶鹤生境的影响. 长春: 东北师范大学, 2008.

- [2] 孙贤斌, 刘红玉. 江苏盐城海滨区域丹顶鹤适宜越冬生境变化. 生态学杂志, 2011, 30(4): 694-699.
- [3] Cao M C, Liu G H. Habitat suitability change of red-crowned crane in Yellow River Delta Nature Reserve. Journal of Forestry Research, 2008, 19(2): 141-147.
- [4] Horne B V. Density as a misleading indicator of habitat quality. The Journal of Wildlife Management, 1983, 47(4): 893-901.
- [5] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量研究方法. 山地学报, 2000, 18(4): 346-352.
- [6] Jenerette G D, Wu J G. On the definitions of scale. Bulletin of the Ecological Society of America, 2000, 81(4): 104-105.
- [7] Qi Y, Wu J G. Effects of changing spatial resolution on the results of landscape pattern analysis using spatial autocorrelation indices. Landscape Ecology, 1996, 11(1): 39-49.
- [8] Wu J G. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. Landscape Ecology, 2004, 19(2): 125-138.
- [9] Wu J G, Jelinski D E, Luck M, Tueller P T. Multiscale analysis of landscape heterogeneity: scale variance and pattern metrics. Geographic Information Science, 2000, 6(1): 6-19.
- [10] 张东水, 兰樟仁, 丘荣祖. 闽江口湿地遥感影像最佳景观观察尺度的选择. 遥感信息, 2006, (4): 30-32.
- [11] 张庆印, 樊军. 高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应. 生态学报, 2013, 33(24): 7739-7747.
- [12] 甄霖, 谢高地, 杨丽, 成升魁. 泾河流域分县景观格局特征及相关性. 生态学报, 2005, 25(12): 3343-3353.
- [13] 布仁仓, 胡远满, 常禹, 李秀珍, 贺红土. 景观指数之间的相关分析. 生态学报, 2005, 25(10): 2764-2775.
- [14] 马志军, 李文军, 王子健, 汤鸿霄. 中国盐城生物圈保护区丹顶鹤(*Grus japonensis*)生境的变化及其适应性. AMBIO-人类环境杂志, 1998, (6): 461-464.
- [15] 胡远满, 舒莹, 李秀珍, 王凌, 李玉祥, 杨玉成. 辽宁双台河口自然保护区丹顶鹤繁殖生境变化及其繁殖容量分析. 生态学杂志, 2004, 23(5): 7-12.
- [16] 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.
- [17] 欧维新, 逢谦, 甘玉婷婷. 盐城海滨湿地资源利用变化及其对丹顶鹤越冬生境的影响. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(7): 30-36.
- [18] 吕士成. 丹顶鹤越冬期在人工湿地的夜栖数量分布. 野生动物杂志, 2007, 28(2): 11-13.
- [19] Su L Y. Comparative Feeding Ecology of the Red-Crowned and White-Naped Cranes. Columbia, Missouri: University of Missouri, 1993.
- [20] Csuti B, Kiester A R. Hierarchical Gap Analysis for Identifying Priority Areas for Biodiversity // Gap Analysis—A Landscape Approach to Biodiversity Planning. Bethesda, Maryland: American of Society for Photogrammetry and Sensing, 1996: 23-58.
- [21] Šímová P, Gdulová K. Landscape indices behavior: A review of scale effects. Applied Geography, 2012, 34(12): 385-394.
- [22] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 尺度推绎研究中的几点基本问题. 地球科学进展, 2002, 17(6): 905-911.
- [23] 杨存建, 刘纪远, 张增祥, 王长有. 土地利用数据尺度转换的精度损失分析. 山地学报, 2001, 19(3): 258-264.
- [24] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 景观指数的粒度变化效应. 第四纪研究, 2003, 23(3): 326-333.
- [25] Li H, Wu J G. Use and misuse of landscape indices. Landscape Ecology, 2004, 19(4): 389-399.
- [26] Griffith J A, Martinko E A, Price K P. Landscape structure analysis of Kansas at three scales. Landscape and Urban Planning, 2000, 52(1): 45-61.
- [27] 于磊, 赵彦伟, 张远, 李敏. 基于最佳分析粒度的大辽河流域湿地景观格局分析. 环境科学学报, 2011, 31(4): 873-879.