

DOI: 10.5846/stxb201804190897

杜志博, 李洪远, 孟伟庆. 天津滨海新区湿地景观连接度距离阈值研究. 生态学报, 2019, 39(17): - .

Du Z B, Li H Y, Meng W Q. Distance thresholds of wetland landscape connectivity in Tianjin Binhai New Area. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(17): - .

## 天津滨海新区湿地景观连接度距离阈值研究

杜志博<sup>1</sup>, 李洪远<sup>\*</sup>, 孟伟庆<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300350

<sup>2</sup> 天津师范大学城市与环境科学学院, 天津 300387

**摘要:** 在应用景观连接度研究景观格局变化时, 选择适宜的距离阈值是关键。适宜的距离阈值有利于识别景观中的关键斑块并及时发现连接脆弱的区域, 对景观格局动态分析、生态恢复研究等均具有重要意义。本文以天津市滨海新区湿地生态系统为研究对象, 将研究区域划分为不同的焦点景观, 焦点景观是依据研究区域栖息候鸟的生境面积而划分的面积大小相同的区域, 并通过 ArcGIS 中的泰森多边形分析实现, 焦点景观分析可为面积更大、结构更加复杂的景观分析提供新的思路。文章选取斑块间链接数(NL)、组分数(NC)、等效连接面积指数(ECA)、景观巧合概率指数(LCP)来表征景观连接度, 设定 100、200、400、600、800、1000、1500、2000、3000、5000、8000m 共 11 个距离阈值, 探讨不同距离阈值下各指数的变化规律, 对比分析研究区域整体景观斑块和焦点景观内各斑块的连接度指数随距离阈值变化的异同, 最终确定研究区域最佳距离阈值。结果表明: (1) 各焦点景观内斑块的景观连接度指数随距离阈值的变化趋势与研究区域整体景观斑块相似且对应的最佳距离阈值相同; (2) 天津市滨海新区湿地景观连接度距离阈值的适宜范围是 400—800m, 该区间内进行景观格局分析研究能够较为真实的反映出研究区域实际景观状况; (3) 通过进一步研究, 最终确定 400m 为天津滨海新区湿地景观连接度最佳距离阈值。研究结果可为天津市滨海新区湿地景观研究提供参考, 在实际研究中距离阈值的选择可根据具体研究目标、研究层次需求等进行适当调整。

**关键词:** 天津滨海新区; 湿地; 焦点景观; 景观连接度; 距离阈值

## Distance thresholds of wetland landscape connectivity in Tianjin Binhai New Area

DU Zhibo<sup>1</sup>, LI Hongyuan<sup>\*</sup>, MENG Weiqing<sup>2</sup>

<sup>1</sup> College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China

<sup>2</sup> College of Urban and Environmental Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China

**Abstract:** When applying landscape connectivity to the study of landscape pattern changes, it is important to choose the appropriate distance threshold, which affects the analysis of landscape connectivity in the study area. If the distance threshold is set too low, the patches in the area will remain unconnected, and fragmentation will be severe, whereas if the distance threshold is set too high, the patches in the area are interconnected and grouped together. However, neither of these scenarios is likely to truly reflect the actual condition of the landscape in the study area. Using an appropriate distance threshold will facilitate the identification of key patches in the landscape and the discovery of vulnerable areas, both of which are important for the dynamic analysis of landscape patterns and ecological restoration studies. The present study investigated this principle using Landsat 8-OLI remote sensing images of a wetland ecosystem of the Tianjin Binhai New Area, taken on April 14, 2017. The research area was divided into different focal landscapes, in order to prevent software stalling and reductions in data processing speed that could have resulted from the large study area and provide a new analytical idea for this field. The focal landscape was the same size area, based on the habitat area of the migratory birds in

基金项目: 天津市自然科学基金科技特派员项目(16JCTPJC53900)

收稿日期: 2018-04-19; 网络出版日期: 2019-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: eialee@nankai.edu.cn

the study area, and was analysed by Thiessen polygon analysis in ArcGIS. The number of links, number of components, equivalent connectivity area, and landscape coincidence probability were selected to characterize the landscape connectivity, and a total of 11 distance thresholds (100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000, 5000, and 8000 m) were selected to draw the 'Landscape Connectivity Index-Distance Threshold' curve, which was used to study the trend of each index under different distance thresholds. By comparing the overall landscape patch and the focal landscape connectivity index with distance thresholds, the optimal distance threshold for the study area was determined. (1) The optimal distance thresholds selected by the two methods of focal landscape and overall landscape patch were the same, and the proposed method provides new ideas for future regional landscape analysis and more complex ecological landscape pattern research. (2) The range of 400—800 m can be used as suitable distance threshold ranges for the dynamic change of landscape pattern and restoration of ecosystems in the Binhai New Area. In this interval, the connectivity of the habitat patch in the study area was relatively stable, which clearly illustrates the distribution of the patches and helps to identify the important patches in the landscape. (3) Through further research, 400 m was finally selected as the optimal distance threshold for the connectivity of the wetland ecosystem in Tianjin Binhai New Area. These findings provide a reference for studying wetland landscapes in the Tianjin Binhai New Area. In addition, the selection of the distance threshold in practical research can be adjusted according to specific research objectives and research level requirements.

**Key Words:** Tianjin Binhai New Area; wetland; focal landscape; landscape connectivity; distance threshold

生态恢复对生物多样性保护的有效性可能会受到恢复区域景观连接度及破碎化程度的影响,与景观连接度相关的参数如斑块间连接程度<sup>[1]</sup>、基质渗透度<sup>[2]</sup>、廊道和垫脚石密度<sup>[3]</sup>等均会对生态恢复效果产生影响。有研究表明,具有中等剩余栖息地数量及一定水平景观连接度的景观斑块可能具有较大的恢复意义,是生态恢复行动重要的参考因素<sup>[4]</sup>,而景观连接度过高、过低的生境斑块均可能不太适合进行优先恢复。

景观连接度(landscape connectivity)是景观空间结构单元间连续性的度量,包括结构连接度(structural connectivity)和功能连接度(functional connectivity)<sup>[5]</sup>。早期的景观连接度研究多集中于结构连接度而忽略基于物种扩散行动的功能连接度,仅仅进行物理上的结构性研究并不现实且单独研究某一方面的功能是较为片面的<sup>[6]</sup>。1984年,Merriam首次将景观连接度引用到景观生态学中,对于破碎景观中栖息地和多样性保护具有重要意义<sup>[7-9]</sup>。1999年,我国学者陈利顶等首次将景观连接度概念引入卧龙自然保护区大熊猫的生境评价研究中<sup>[10]</sup>。目前,景观连接度已在自然保护区规划<sup>[11]</sup>、栖息地保护<sup>[12]</sup>、生物多样性保护<sup>[13,14]</sup>、生态恢复<sup>[4]</sup>等领域得到广泛应用。

距离阈值指生态流的最大可达距离,通常用以判断研究区域生境斑块间生态流是否存在及存在强弱<sup>[15-18]</sup>。距离阈值的设定会影响研究区域景观连接度分析,若距离阈值设置过低则区域内斑块间互不连通,破碎化严重;若距离阈值设置过高则区域内斑块均是相互连通的且同属于同一组分,以上两种情况均不能真实反应研究区域景观的真实情况。最佳距离阈值的取值方法研究多种多样,包括目标物种分析法<sup>[19-21]</sup>、距离阈值梯度法<sup>[22,23]</sup>、关系曲线法<sup>[24,25]</sup>等。Szabó<sup>[19]</sup>以地面甲虫(*Pterostichus melas*)为目标物种,将其最大移动距离作为距离阈值进行栖息地斑块重要性研究;Hernández<sup>[20]</sup>使用植物种子传播的3个代表性距离为距离阈值研究地中海半干旱地区的景观动态;Laita<sup>[22]</sup>采用阈值梯度法即通过设置不同的距离阈值梯度计算研究区域斑块重要性和网络中心性;Mailec<sup>[25]</sup>通过建立“景观连接度指数-距离值”曲线,研究两者关系及突变点确定研究区域距离阈值。确定研究区域合适的距离阈值有利于识别关键斑块及连接相对薄弱的区域,可为生态恢复过程提供参考。

天津市滨海新区是东亚至澳大利亚候鸟迁徙的必经之地,沿海滩涂、湿地为鸟类提供了丰富的栖息地,近年来由于城市建设扩张、工业迅速发展等原因导致其湿地系统发生明显变化,具体表现为景观斑块数量增加,破碎化程度增加等。本文以滨海新区为研究区域,基于该区域内迁徙鸟类栖息地生境的可达到性及可利用

性,利用景观连接度指数对研究区域进行连接度和斑块重要性分析,设定不同的距离阈值梯度值,绘制“景观连接度指数-距离阈值”曲线,筛选出滨海新区湿地景观连接度适宜阈值,为天津市滨海新区湿地景观研究提供参考。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区域与数据来源

#### 1.1.1 研究区域概况

天津市滨海新区紧邻渤海。地理坐标为  $38^{\circ}40'—39^{\circ}00'N$ ,  $117^{\circ}20'—118^{\circ}00'E$ ,属滨海冲击平原,西北高、东南低,海拔 1—3m,地面坡度小于  $1/10000$ 。陆域面积  $2270\text{km}^2$ ,海域面积  $3000\text{km}^2$ ,海岸线  $153\text{km}$ <sup>[26]</sup>。滨海新区以湿地生态系统为主,湿地面积广阔且功能多样,广阔的湿地系统为鸟类提供必要的栖息地,对鸟类生物多样性保护具有重要意义。对滨海新区湿地动态监测研究发现,2006—2012 年间,滨海新区湿地总面积、各类型湿地面积均有所下降,尤其是滩涂湿地被围田占用,自然海岸线 90% 以上被破坏占用,导致滨海新区湿地系统破碎化严重,人工化程度很高。为防止湿地的持续退化,对该区域湿地生态系统进行科学、合理的保护十分必要。

#### 1.1.2 数据来源

本研究所用遥感数据为 Landsat-8 卫星影像,数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>)。选取 2017-4-14 的 Landsat-8 OLI 影像,云量小于 5%,该时期的遥感影像可满足分析要求。其他辅助数据包括天津市滨海新区边界矢量图、天津市植被分布图及天津市城市总体规划等相关图件。采用的数据处理平台包括 ENVI 5.0、ArcGIS 10.2 及景观连接度分析软件 Conefor Sensinode 2.6<sup>[27]</sup>。

### 1.2 研究方法

基于该区域内迁徙鸟类栖息地生境的可达到性及可利用性,选取天津市滨海新区湿地生态系统为研究对象,将研究区域划分为不同的焦点景观(Focal Landscape, FL),焦点景观是依据研究区域栖息候鸟的生境面积而划分的面积大小相同的区域,并通过 ArcGIS 中的泰森多边形分析实现,一个多边形分割得到的区域作为一个焦点景观。通过焦点景观内斑块分析可以得出基于景观连接度指数的各焦点景观内斑块的重要性分布,且该分析也可为更大面积区域研究提供一种新的思路。通过设定不同距离阈值计算整体生境斑块、各焦点景观内斑块的景观连接度指数,分别绘制整体生境斑块、各焦点景观内斑块的景观连接度指数随距离阈值变化曲线。对比分析两者的变化趋势,确定两种情况对应的最佳距离阈值是否相同,最终筛选出适合天津市滨海新区湿地生态系统景观连通性分析、景观格局变化研究的最佳距离阈值。

#### 1.2.1 焦点景观(FL)

利用遥感影像处理软件 ENVI 5.3,对遥感影像进行处理。采用 UTM 投影,坐标系采用 WGS\_1984 大地坐标系,对遥感影像进行波段组合(5、4、3 波段合成)、辐射增强、裁剪处理。根据遥感图像的纹理、色调及野外调查照片采用监督分类法对天津市滨海新区湿地进行解译,最终得到研究区域湿地景观分布图,如图 1 所示。在 ArcGIS 中将湿地景观分布图栅格数据转化为矢量数据,选择工具箱中的泰森多边形工具生成多边形,然后选择分割工具对研究区域进行分割,得到各焦点景观(FL),如图 1 所示。将每一个焦点景观(FL)作为一个新的研究区域进行研究。

#### 1.2.2 扩散距离阈值的设定

不同物种扩散范围不同,斑块是否连通与生物的迁移扩散特性有重要关系,鸟类的平均扩散范围为 30—32000m,中小型哺乳动物和两栖爬行动物的平均扩散范围为 50—1000m<sup>[28,29]</sup>。初步研究显示,当扩散距离阈值达 3000m 时,多数焦点景观(FL)的组分数等于 1,且基本不再发生变化,这表明景观中所有斑块间互相连接且属于同一组分,此时进行景观连接度分析没有意义。综上,本文设定 100,200,400,600,800,1000,1500,

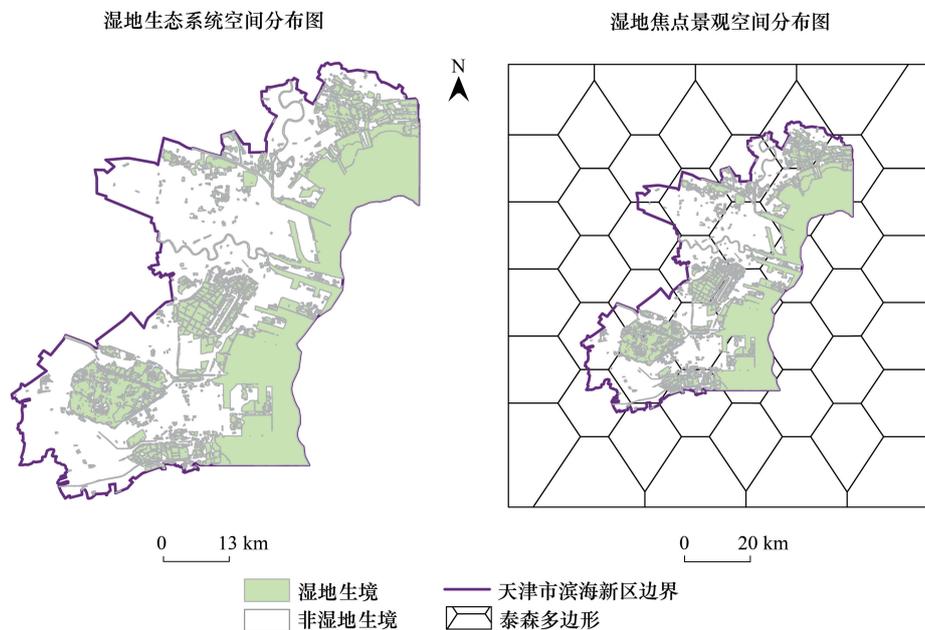


图 1 2017 年天津市滨海新区湿地景观分布图

Fig.1 Spatial distribution map of wetland landscape in Tianjin Binhai New Area in 2017

2000, 3000, 5000, 8000m 共 11 个距离阈值, 对 2017 年天津市滨海新区湿地景观距离阈值进行研究。

### 1.2.3 景观连接度指标的选取

(1) 斑块间链接数 (Number of Links, NL) 指景观中栖息地节点间连接关系的数量, 即若任意两个斑块间的距离小于设定的距离阈值, 则认为这两个斑块之间存在链接数<sup>[11,30]</sup>。景观连接性越好, 其链接总数越多。

(2) 组分数 (Number of Components, NC) 指由功能或结构上相互连接的斑块组成的整体<sup>[22]</sup>。一个孤立的节点或斑块将会组成一个组分, 不同组分之间不存在功能关系。因此, 景观内各斑块间联系越紧密其组分数越少<sup>[29]</sup>。

(3) 等效连接面积指数 (Equivalent Connectivity Area, ECA) 指单个斑块 (最大连接) 的大小, 该指数可提供与景观中实际栖息地模式相同的连接概率<sup>[31]</sup>, 计算公式如下:

$$ECA = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j p_{ij}^*}$$

式中,  $a_i$  和  $a_j$  分别为斑块  $i$  和  $j$  的面积,  $p_{ij}^*$  为斑块  $i$  和  $j$  之间所有可能路径 (直接的和间接的) 的最大迁移概率。

当斑块的属性与区域内其他栖息地特征 (栖息地质量、种群大小等) 相对应时, 等效连接面积指数 (ECA) 就可以等同于等效连通性指数 (EC)。本文使用的等效连通性指数包括等效整体连通性指数 (EC (IIC)) 和等效可能连通性指数 (EC (PC))<sup>[32]</sup>。EC (IIC)、EC (PC) 具有 IIC、PC 指数的所有理想属性和优先级排序能力, 并且体现出与节点属性具有相同的单位、便于量化景观连通性变化等优点<sup>[33,34]</sup>。

(4) 景观巧合概率指数 (Landscape Coincidence Probability, LCP) 指位于景观内的两个随机节点位于同一栖息地的概率, 通常通过研究连通斑块区域集来反映景观的连贯性程度。一般来说, LCP 的值随连通性的提高而增加<sup>[35,36]</sup>。

### 1.2.4 数据处理

本文采用 ArcGIS 10.2、ENVI 5.3 软件对遥感影像进行处理, 利用 Conefor Sensinode 2.6 软件计算各连接度指数, 采用 Origin 8.5 软件绘制图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 研究区域整体景观斑块与各焦点景观内斑块连接度指数随距离阈值变化对比分析

分析可知,对整体景观斑块、各焦点景观内斑块进行景观连接度分析所筛选出的最佳距离阈值相同。在进行距离阈值选择研究时,可能会遇到研究区域面积过大等情况,此时若采用整体景观斑块进行分析可能会造成分析速度过慢、软件崩溃等问题,焦点景观(FL)的提出可为此类研究提供一种新的思路,在进行分析时可根据具体实际情况,选择最佳的处理方法进行分析以便提高分析效率。

#### 2.1.1 景观链接数(NL)、景观组分数(NC)对比分析

研究区域整体景观斑块的斑块间链接数(NL)、组分数(NC)随距离阈值变化如图2所示;各焦点景观的斑块间链接数(NL)、组分数(NC)随距离阈值变化如图3所示。

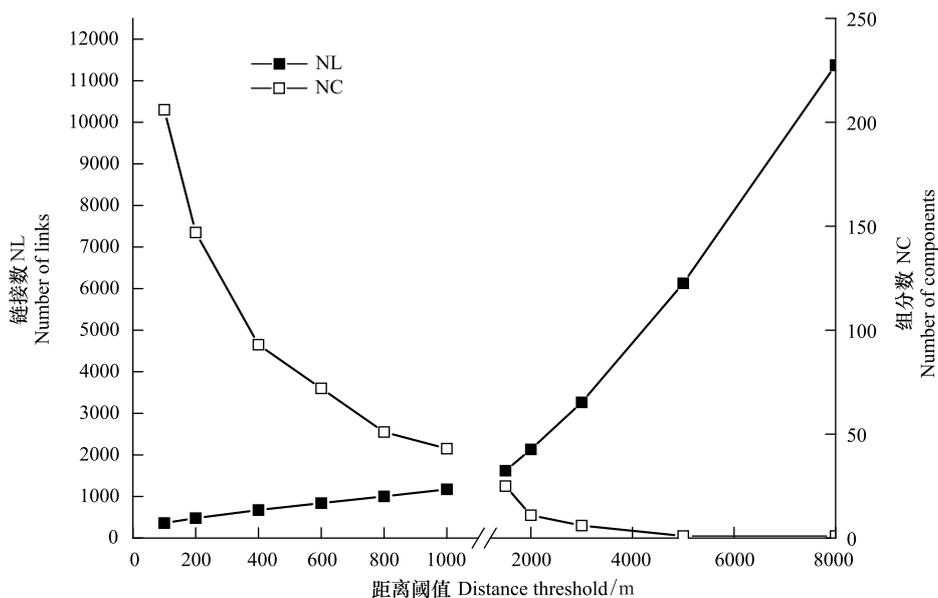


图2 整个生境斑块的NL、NC值随距离阈值的变化

Fig.2 Changes in values of NL and NC with distance thresholds across the entire habitat patch

对比分析可知,两种方法中NL值均随距离阈值的增加而增加,NC值随距离阈值的增加而下降。除特殊的几个焦点景观(FL)外,其余焦点景观(FL)的NL、NC值随距离阈值的变化与整个生境斑块的变化趋势相似,这可能是由于该焦点景观内斑块均为面积较小的破碎化斑块且斑块数量较少。NL变化呈现出缓慢增长-迅速增长的趋势;NC变化呈现迅速下降-缓慢下降-趋于稳定的趋势,具体变化趋势分析见2.2.1。

#### 2.1.2 等效整体连通性指数(EC(IIC))、等效可能连通性指数(EC(PC))对比分析

研究区域整体景观斑块的等效整体连通性指数(EC(IIC))、等效可能连通性指数(EC(PC))如图4所示;各焦点景观的等效整体连通性指数(EC(IIC))、等效可能连通性指数(EC(PC))如图5所示。

对比分析可知,两种方法的EC(IIC)值均随距离阈值的增加而增加,EC(PC)值随距离阈值的增加而增加。除特殊的几个焦点景观外,其余焦点景观的EC(IIC)、EC(PC)值随距离阈值的变化与整个生境斑块的变化趋势相似,这可能是由于这些焦点景观内生境斑块面积过小、破碎化程度过高引起的。EC(IIC)变化呈现出快速增长-缓慢增长-快速增长-缓慢增长的趋势;EC(PC)变化呈现出快速增长-缓慢增长-更缓慢增长趋于稳定的趋势,具体变化趋势分析见2.2.2。

## 2.2 距离阈值对景观连接度的影响

### 2.2.1 距离阈值对链接数、组分数的影响

由图2分析可知,随距离阈值不断增加,NL值呈递增趋势,NC值呈递减趋势并最终趋向于1。根据结果

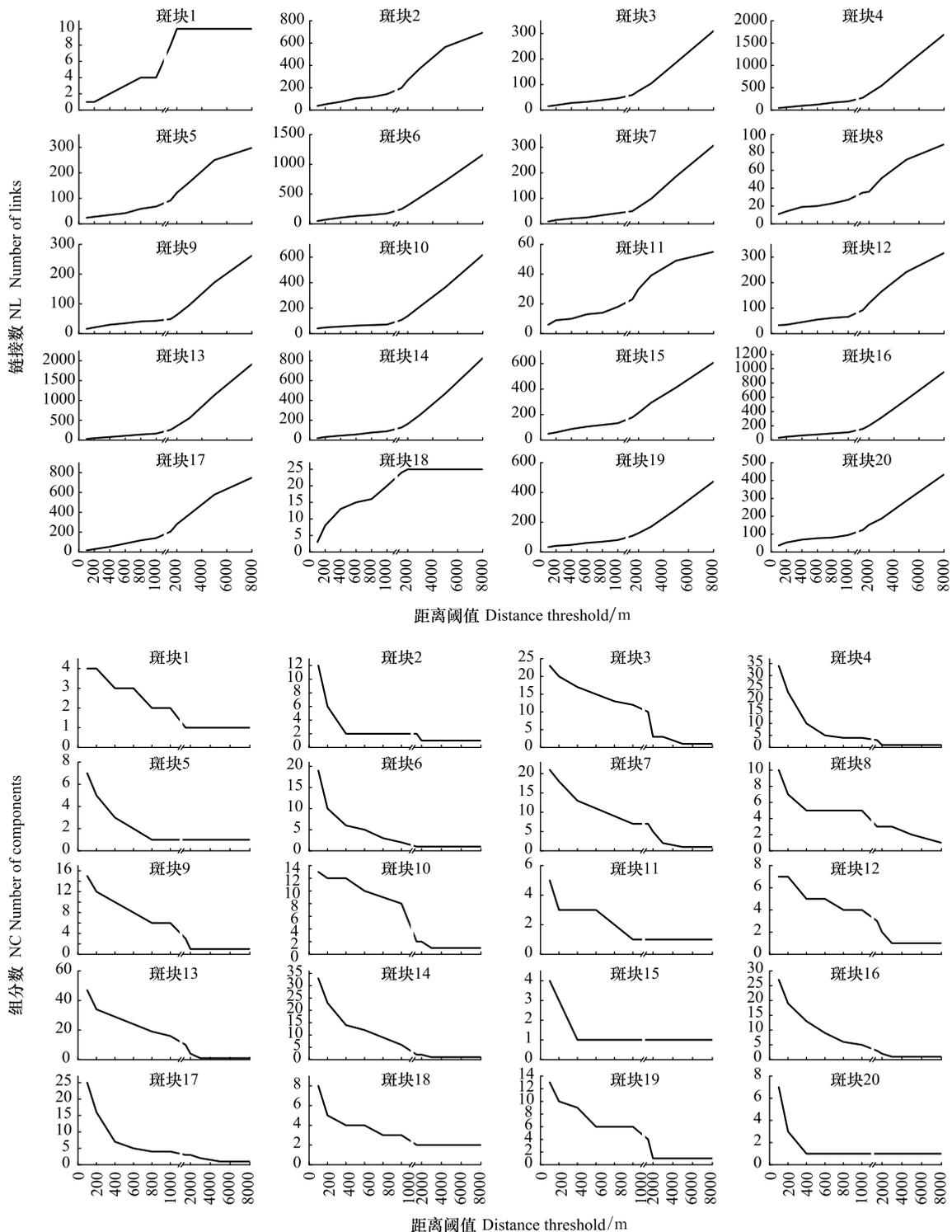


图3 各焦点景观的NL、NC值随距离阈值的变化

Fig.3 Change in values of NL and NC with distance thresholds across each focal landscape

可将阈值划分为4个区间。

(1) 距离阈值为100—400m, NC值迅速降低。景观连接度的提高有助于提高生态系统稳定性, 如果景观连接度易随距离阈值的改变而改变, 则说明该区间内的距离阈值不适合描述研究区域景观的连接状况, 因此该距离阈值区间不能作为合适的距离阈值范围。

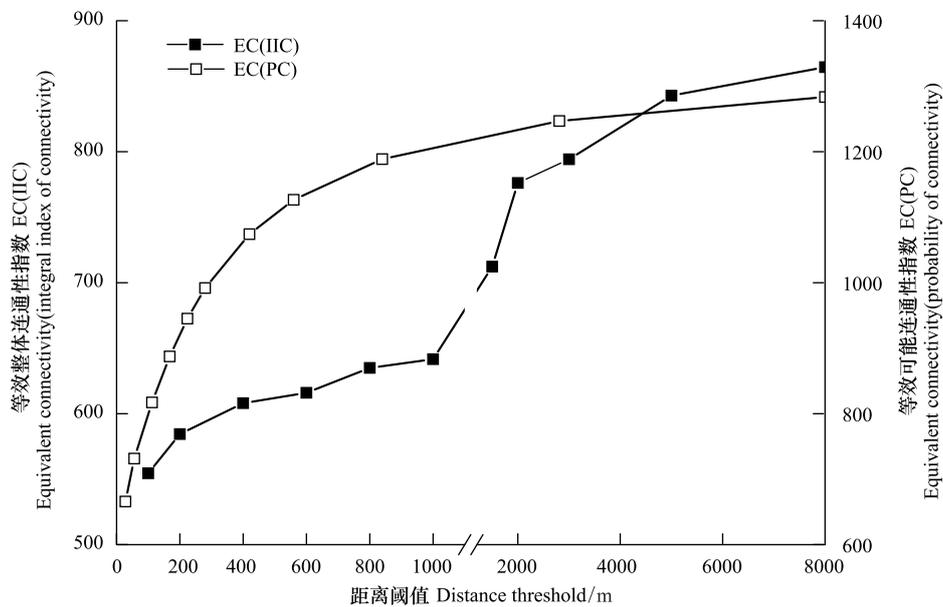


图4 整个生境斑块的 EC(IIC)、EC(PC) 值随距离阈值的变化

Fig.4 Changes in EC(IIC), EC(PC) values with distance thresholds across the entire habitat patch

(2) 距离阈值为 400—800m, NC 值逐渐降低, 下降曲线变缓。在此区间距离阈值内, 虽然景观组分仍然降低, 但其幅度明显放缓, 且在此距离阈值区间内 NL 值增长缓慢, 说明此区间内的景观连接度较稳定, 受扩散距离阈值变化影响较小, 有利于进行景观连接度分析。

(3) 距离阈值为 800—2000m, NC 值变化率较小, 但 NL 值变化率仍然较大, 说明在此阈值区间内景观稳定性仍然较差, 不适合进行景观格局和过程分析, 因此也不能作为合适的距离阈值范围。

(4) 距离阈值大于 2000m, 组分数平缓减小到 1, 即全部生态斑块同属于一个组分且斑块间互相连接。此时, 研究区内所有生境斑块都可看作是相互连接的, 都可作为栖息地, 这显然与研究区实际生境状况不符, 因此, 该距离阈值区间也不能作为合适的距离阈值范围。

综上, 由斑块间链接数(NL)和组分数(NC)分析可知, 400—800m 是合适的距离阈值范围, 在该区间内比较适合进行研究区景观格局分析。

### 2.2.2 距离阈值对等效连接指数的影响

由图 4 分析可知, EC(IIC)、EC(PC) 指数值均随距离阈值的增加而增加, 根据结果可将阈值划分为 4 个区间。

(1) 距离阈值为 0—400m, EC(IIC)、EC(PC) 值迅速增长。说明随距离阈值的增加, 研究区域景观连通性迅速增加, 原因可能是研究区域许多破碎的小斑块在距离阈值增加时被认为是连通的, 因此连通性指数增加迅速。但此阈值区间并不能作为阈值选择范围, 在该区间内景观不稳定, 很容易受到阈值的影响。

(2) 距离阈值为 400—800m, EC(IIC)、EC(PC) 值增长缓慢。此时, 研究区域内景观连通性变化波动不大, 景观稳定性较好。

(3) 距离阈值为 800—2000m, EC(PC) 值增长仍然较缓慢, 但 EC(IIC) 值增长反而迅速增加。由于 EC(IIC) 指数与 IIC 指数具有相同的指示意义, 代表整体连通性, 当距离阈值再次增加时, 面积较大的景观斑块也被认为是连接的, 因此指数增加; EC(PC) 值有所增加但增长较缓慢, 可能是由于在考虑斑块之间的连通可能性时, 一些中间斑块的贡献。

(4) 距离阈值大于 2000m, EC(IIC)、EC(PC) 值均增长缓慢且逐渐趋于稳定。此时整个生境斑块可能被认为是连通的, 因此随着距离阈值的增加, 连通性指数增长逐渐稳定。

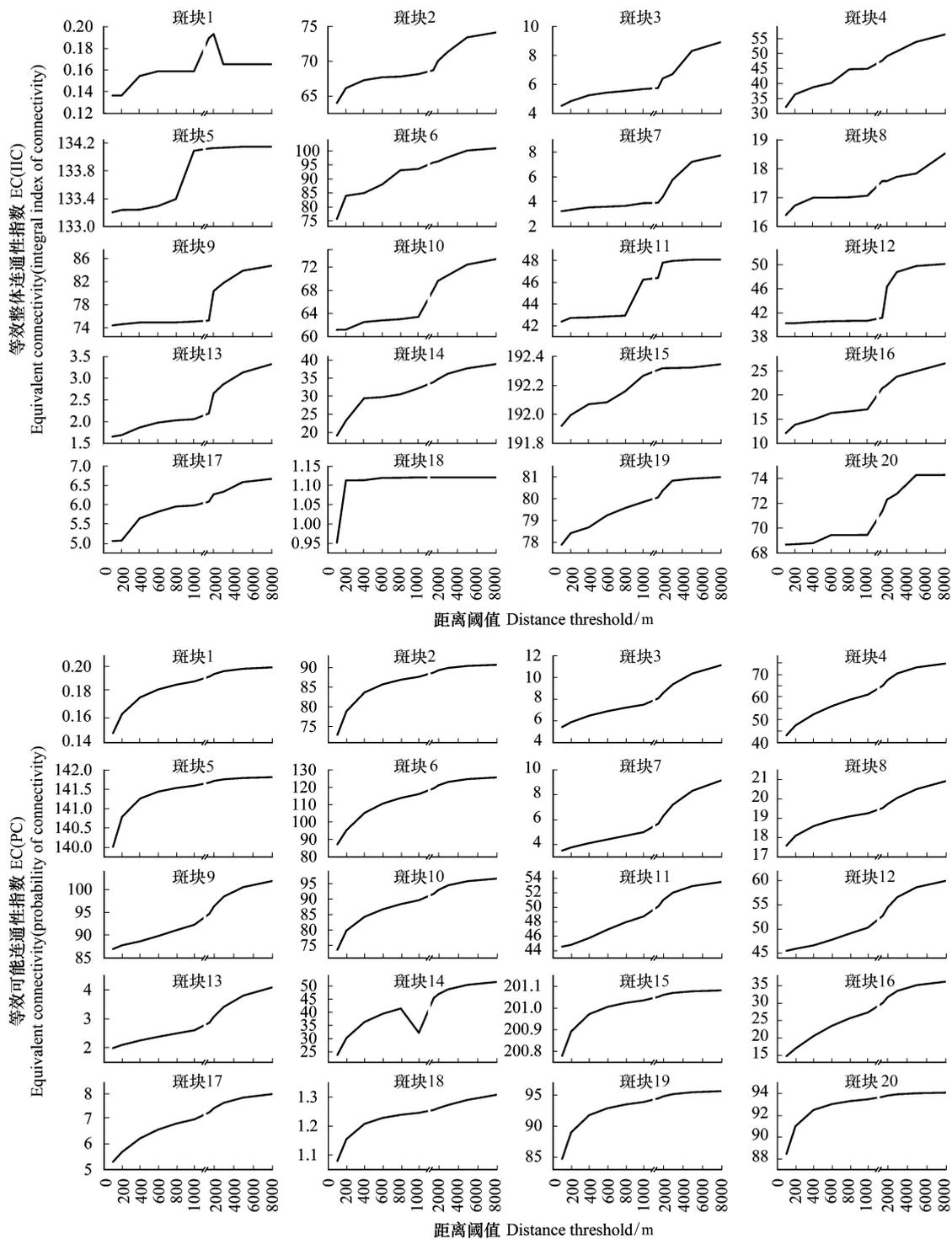


图5 各焦点景观的 EC(IIC)、EC(PC) 值随距离阈值的变化

Fig.5 Changes in values of EC(IIC), EC(PC) with distance thresholds across each focal landscape

综上,根据距离阈值对 EC(IIC)、EC(PC) 值的影响分析,当景观距离阈值为 400—800m 时,研究区域内景观连通性呈现出稳定状态,与 2.2.1 中斑块间链接数(NL)、组分数(NC)的分析结果相同。

### 2.2.3 最佳距离阈值选择

为进一步确定具体的距离阈值,选择反映斑块重要性的指数 dLCP、dIIC、dPC 进行分析,分析数据发现,在合适的阈值范围内,dLCP、dIIC、dPC 的变化趋势基本保持一致。选取对景观整体面积影响较大的 6 个斑

块,设定 400m、600m、800m 这 3 个距离阈值,研究 dLCP、dIIC、dPC 的变化,结果如图 6 所示。

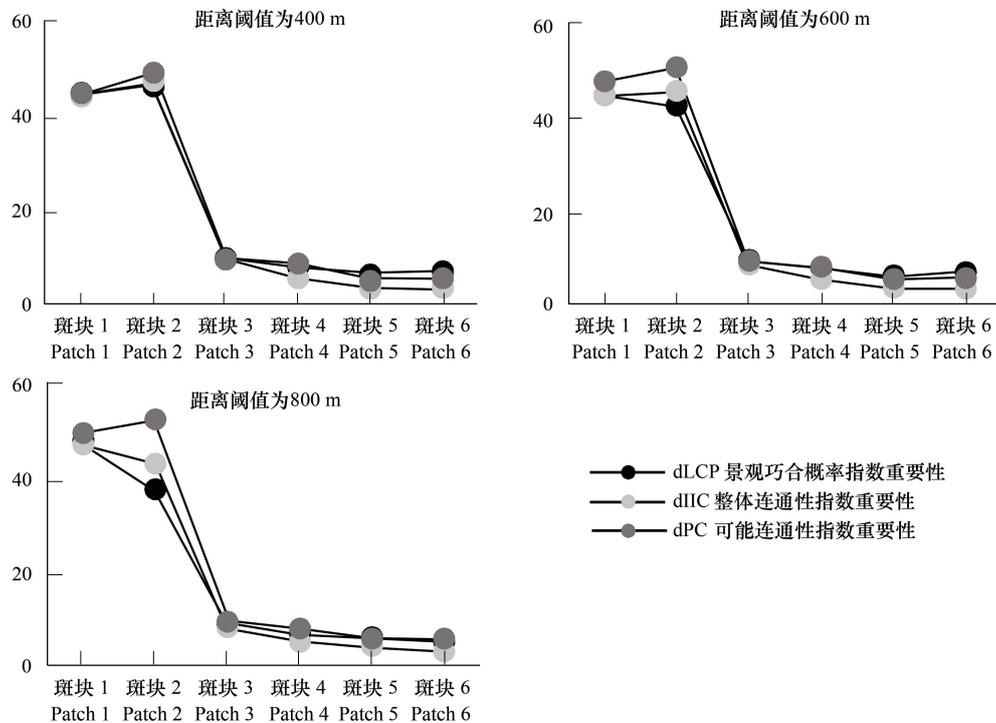


图 6 不同距离阈值下,dLCP、dIIC、dPC 的值

Fig.6 The values of dLCP, dIIC, dPC between different distance thresholds

a 表示距离阈值为 400m;b 表示距离阈值为 600m;c 表示距离阈值为 800m

分析可知,当距离阈值为 400m 时,dLCP、dIIC、dPC 的变化趋势基本一致,在该阈值下可反应研究区域内景观斑块合理的连通状况。因此,研究区域最佳距离阈值为 400m。

### 3 讨论

在进行景观连接度分析时,通常需要考虑到研究区面积,若研究区域面积过大、生境斑块破碎化严重、景观连通性情况复杂,选择研究区域整体生境斑块进行研究将会面临诸多问题,如生境节点过多、分析结果复杂不易辨别、软件运行速度缓慢出现卡顿等,此时可将整体生境斑块划分为面积较小的焦点景观(FL)进行分析。本文将研究区域划分为 20 个小的焦点景观(FL),并对比分析整体生境斑块、各焦点景观(FL)间连接度指数随距离阈值变化趋势的异同,研究发现整体生境斑块、各焦点景观(FL)之间连接度指数随距离阈值变化趋势大体一致,两种不同方法分析确定的最佳距离阈值相同。但对于更大面积、景观连通性更复杂的景观斑块,或进行其他景观分析,将整体景观斑块划分为焦点景观(FL)的方法是否适用或两种方法景观连接度分析是否具有一致性有待进一步研究。

在进行整体景观斑块与焦点景观内斑块景观连接度指数随距离阈值变化对比分析时,存在特殊的焦点景观(如 FL1),其内部斑块间连接度指数随距离阈值增加的变化趋势与整体景观斑块不同,呈现出在某一距离阈值范围内其链接数、组分数不发生变化或等效连接指数出现某个峰值的现象,这可能是由于进行焦点景观划分后,该焦点景观内斑块均为破碎化的小面积斑块且斑块数量较少,并不能很好的反映出研究区域整体景观连接度现状,因此随着距离阈值的增加其景观连接度指数表现出不同于整体斑块分析的趋势。同时若划分的焦点景观面积过小,使得焦点景观内仅存在一个完整的斑块,进行景观连接度分析时也可能存在一些问题。综上,在利用焦点景观进行分析时,应根据研究区域面积、目标物种最小生存面积或研究目的设置最合适的焦点景观面积。在进行景观连接度分析时,应综合考虑各个焦点景观内斑块的实际情况,选择最能够代表

整体景观连接度现状的焦点景观进行相应分析。

距离阈值的选择需要综合考虑多方面因素,物种的扩散距离是关键因素。不同物种扩散距离往往存在很大差异,通常百米级范围能满足大多数物种的扩散需求<sup>[10]</sup>,但城市道路、建筑物及人类活动往往会阻碍这些动物的扩散,造成景观破碎化使距离阈值减小。景观连接度能够衡量景观要素在结构和功能上的连通程度,基于图论的景观连接度模型通常能更好的反映物种扩散、迁徙过程与景观格局的相互关系。在进行景观连接度分析时需要确定适宜的距离阈值,以便寻找出景观连接的薄弱环节、确定对整体景观连通性具有重要贡献值的小型斑块。采用 IIC、PC 等景观连通性指数筛选景观距离阈值时,适宜的距离阈值与湿地景观斑块现状分布密切相关<sup>[26]</sup>,若研究区域内生境斑块间距离较大,采用较小的距离阈值则很难发现景观连通的薄弱环节;若各生境斑块间距离较小或覆盖率较高,则必须采用较小的距离阈值进行分析,较大距离阈值往往会将各斑块默认为是相互连通的从而影响小面积斑块重要性的分析。本文只根据 IIC、PC 等景观连接度指数筛选出研究区域景观连通性分析的最佳距离阈值,对于最佳距离阈值与研究区域景观格局相互作用机制有待进一步研究。在进行生态恢复时,进行研究区域景观连接度研究是关键环节之一,通过景观连接度分析可以清晰了解研究区域当前的景观连接度现状及重要斑块分布情况,这将为生态恢复优先区域划定研究提供一种方法和思路。但值得注意的是,在进行距离阈值选择时不仅仅要考虑景观连接度的可执行性,还要考虑到不同层次的目的要求,最终确定最适合该研究区域的距离阈值。

#### 4 结论

本文将研究区域划分为 20 个小的焦点景观(FL),基于景观连接度原理,设置 11 个不同的距离阈值进行天津市滨海新区湿地景观连接度最佳距离阈值的筛选,同时对比分析研究区域整体景观斑块与各焦点景观(FL)的连接度指数随距离阈值的变化趋势,最终得出以下结论:

(1)通过对比分析研究区域整体景观斑块与各焦点景观内斑块的连接度指数随距离阈值变化的趋势发现,各焦点景观内斑块与整体景观斑块的景观连接度指数随距离阈值的变化趋势相似,即通过两种方法筛选出相同的最佳距离阈值。采用软件进行焦点景观连接度指数计算常表现出效率高,有效避免软件卡顿等优点。可为今后更大区域景观分析、更复杂生态景观格局研究提供新的思路。

(2)通过分析不同扩散距离阈值条件对斑块间链接数(NL)、组分数(NC)、等效连通性指数(EC,包括 EC(IIC)、EC(PC))的影响,筛选出 400—800m 作为滨海新区景观格局动态变化、生态系统恢复等研究的适宜距离阈值范围。在该区间内,研究区内生境斑块连接度较为稳定,能较为清晰地显示出各斑块的分布情况,有利于识别景观中的重要斑块。

(3)通过进一步对研究区域生境斑块重要性的计算,发现在距离阈值为 400m 时,各生境斑块重要性(dLCP、dIIC、dPC)变化趋势一致,最终选定 400m 作为天津市滨海新区湿地生态系统景观连接度最佳距离阈值。

在整个湿地生态系统中,面积较大斑块往往会影响整个区域的景观连通性水平,是维持生态系统稳定性的关键组成成分,但也发现一些小面积的生境斑块由于其数量众多,也会对生态系统连通性产生重要影响,且其具有维护成本低、易管理等优点,因此,在进行生态系统景观连通性、景观格局动态分析及生态系统恢复研究时,应综合考虑该生态系统中的所有生境斑块。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] Martensen A C, Pimentel R G, Metzger J P. Relative effects of fragment size and connectivity on bird community in the Atlantic Rain Forest: Implications for conservation. *Biological Conservation*, 2008, 141(9): 2184-2192.
- [ 2 ] Uezu A, Beyer D D, Metzger J P. Can agroforest woodlots work as stepping stones for birds in the Atlantic forest region? *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17(8): 1907-1922.
- [ 3 ] Boscolo D, Candia-Gallardo C, Awade M, Metzger J P. Importance of interhabitat gaps and stepping-stones for Lesser Woodcreepers (*Xiphorhynchus fuscus*) in the Atlantic Forest, Brazil. *Biotropica*, 2008, 40(3): 273-276.

- [ 4 ] Holl K D, Aide T M. When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 2011, 261(10): 1558-1563.
- [ 5 ] 邹建国. 景观生态学——概念和理论. *生态学杂志*, 2000, 19(1): 42-52.
- [ 6 ] 陈春娣, 贾振毅, 吴胜军, 童笑笑, 周文佐, 陈若漪, 张超林. 基于文献计量法的中国景观连接度应用研究进展. *生态学报*, 2017, 37(10): 3243-3255.
- [ 7 ] Robichaud I, Villard M A, Machtans C S. Effects of forest regeneration on songbird movements in a managed forest landscape of Alberta, Canada. *Landscape Ecology*, 2002, 17(3): 247-262.
- [ 8 ] Forman R T T, Baudry J. Hedgerows and hedgerow networks in landscape ecology. *Environmental Management*, 1984, 8(6): 495-510.
- [ 9 ] Wu J G, Vankat J L, Barlas Y. Effects of patch connectivity and arrangement on animal metapopulation dynamics: A simulation study. *Ecological Modelling*, 1993, 65(3/4): 221-254.
- [ 10 ] 陈利顶, 刘雪花, 傅伯杰. 卧龙自然保护区大熊猫生境破碎化研究. *生态学报*, 1999, 19(3): 291-297.
- [ 11 ] Saura S, Pascual-Hortal L. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 83(2/3): 91-103.
- [ 12 ] 张宇, 李丽, 吴玗胜, 周跃, 覃顺萍, 王小明. 基于生境斑块的滇金丝猴景观连接度分析. *生态学报*, 2016, 36(1): 51-58.
- [ 13 ] Lindborg R, Eriksson O. Historical landscape connectivity affects present plant species diversity. *Ecology*, 2004, 85(7): 1840-1845.
- [ 14 ] Borthagaray A I, Brazeiro A, Giménez L. Connectivity and patch area in a coastal marine landscape: Disentangling their influence on local species richness and composition. *Austral Ecology*, 2009, 34(6): 641-652.
- [ 15 ] 逢谦. 基于图论的盐城滨海湿地丹顶鹤生境连接度变化及恢复研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [ 16 ] 李雯雯, 李丽, 吴玗胜, 张宇, 代云川, 周跃. 评估不同尺度下农牧地对滇金丝猴景观连接度的影响. *生态学报*, 2016, 36(24): 8136-8144.
- [ 17 ] 齐珂, 樊正球. 基于图论的景观连接度量化方法应用研究——以福建省闽清县自然森林为例. *生态学报*, 2016, 36(23): 7580-7593.
- [ 18 ] 陈春娣, 吴胜军, Douglas M C, 吕明权, 温兆飞, 姜毅, 陈吉龙. 阻力赋值对景观连接模拟的影响. *生态学报*, 2015, 35(22): 7367-7376.
- [ 19 ] Szabó S, Novák T, Elek Z. Distance models in ecological network management: a case study of patch connectivity in a grassland network. *Journal for Nature Conservation*, 2012, 20(5): 293-300.
- [ 20 ] Hernández A, Miranda M, Arellano E C, Saura S, Ovalle C. Landscape dynamics and their effect on the functional connectivity of a Mediterranean landscape in Chile. *Ecological Indicators*, 2015, 48(1): 198-206.
- [ 21 ] Teixeira T S M, Weber M M, Dias D, Lorini M L, Esbérard C E L, Novaes R L M, Cerqueira R, Vale M M. Combining environmental suitability and habitat connectivity to map rare or Data Deficient species in the Tropics. *Journal for Nature Conservation*, 2014, 22(4): 384-390.
- [ 22 ] Laita A, Mönkkönen M, Kotiaho J S. Woodland key habitats evaluated as part of a functional reserve network. *Biological Conservation*, 2010, 143(5): 1212-1227.
- [ 23 ] Xun B, Yu D Y, Liu Y P. Habitat connectivity analysis for conservation implications in an urban area. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(1): 44-52.
- [ 24 ] Keitt T H, Urban D L, Milne B T. Detecting critical scales in fragmented landscapes. *Conservation Ecology*, 1997, 1(1): 4.
- [ 25 ] Neel M C. Patch connectivity and genetic diversity conservation in the federally endangered and narrowly endemic plant species *Astragalus albens* (Fabaceae). *Biological Conservation*, 2008, 141(4): 938-955.
- [ 26 ] 孟伟庆, 李洪远, 郝翠, 莫训强. 近 30 年天津滨海新区湿地景观格局遥感监测分析. *地球信息科学学报*, 2010, 12(3): 436-443.
- [ 27 ] Saura S, Torné J. Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 24(1): 135-139.
- [ 28 ] 刘常富, 周彬, 何兴元, 陈玮. 沈阳城市森林景观连接度距离阈值选择. *应用生态学报*, 2010, 21(10): 2508-2516.
- [ 29 ] 赵清贺, 马丽娇, 刘倩, 丁圣彦, 卢训令, 曹梓豪, 张伟帆. 黄河中下游典型河岸缓冲带植被景观连接度及其网络构建. *中国生态农业学报*, 2017, 25(7): 983-992.
- [ 30 ] Pascual-Hortal L, Saura S. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 2006, 21(7): 959-967.
- [ 31 ] Saura S, Estreguil C, Mouton C, Rodríguez-Freire M. Network analysis to assess landscape connectivity trends: Application to European forests (1990-2000). *Ecological Indicators*, 2011, 11(2): 407-416.
- [ 32 ] Bodin Ö, Saura S. Ranking individual habitat patches as connectivity providers: integrating network analysis and patch removal experiments. *Ecological Modelling*, 2010, 221(19): 2393-2405.
- [ 33 ] Saura S, Rubio L. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 2010, 33(3): 523-537.
- [ 34 ] 蒙古军, 王晓东, 尤南山, 朱利凯. 黑河中游生生态用地景观连接性动态变化及距离阈值. *应用生态学报*, 2016, 27(6): 1715-1726.
- [ 35 ] 姜磊, 岳德鹏, 曹睿, 任慧君. 北京市朝阳区景观连接度距离阈值研究. *林业调查规划*, 2012, 37(2): 18-22, 32-32.
- [ 36 ] 侍昊, 徐雁南. 基于景观连通性的城市绿地核心区规划方法研究. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2011, 35(1): 51-56.