

## 陕西凤县林麝生境破碎化及其景观指数评估

肖宇<sup>1</sup>, 姜海瑞<sup>1</sup>, 薛文杰<sup>1</sup>, 王滢<sup>1,2</sup>, 胡忠军<sup>1,3</sup>, 徐宏发<sup>1</sup>

(1. 华东师范大学生命科学院, 上海 200062; 2. 内江师范学院化学与生命科学系, 四川内江 641000;  
3. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

**摘要:** 应用遥感和地理信息系统技术, 从大尺度上分析陕西凤县林麝 *Moschus berezovskii* 生境相关因子的重要性。通过对景观连接度进行模糊相对赋值, 建立景观连接度评价模型, 分析该地区林麝生境的景观连接度水平, 评价生境的适宜性, 并组建林麝生境模型。结果表明: 在被研究的陕西西南部山区 3 187 km<sup>2</sup> 面积中, 林麝最适宜生境的总面积仅有 168 km<sup>2</sup>, 占研究地区的 5.28%, 且在空间分布上处于极度破碎化状态。从景观指数上看, 最适宜生境的斑块面积小, 形状狭长复杂, 呈孤立分布状态, 对林麝的繁衍十分不利。提出了相应的生境恢复建议。表 4 参 27

**关键词:** 动物生态学; 地理信息系统; 遥感; 林麝; 生境破碎化; 景观连接度

**中图分类号:** S718.6; Q958.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-5692(2008)03-0331-05

## Evaluation of habitat fragmentation and landscape index for *Moschus berezovskii* in Fengxian County, Shaanxi Province

XIAO Yu<sup>1</sup>, JIANG Hai-rui<sup>1</sup>, XUE Wen-jie<sup>1</sup>, WANG Yu<sup>1,2</sup>, HU Zhong-jun<sup>1,3</sup>, XU Hong-fa<sup>1</sup>

(1. School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Chemistry and Life Science Department, Neijiang Normal College, Neijiang 641000, Sichuan, China; 3. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** The habitat of forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Fengxian County, Shaanxi Province, was analyzed using remote sensing (RS), geographic information system (GIS) and Fragstats. With the model of landscape connectivity, constructed on the fuzzy evaluation of connectivity, several aspects such as the connectivity level, suitability assessment and fragmentation status of the musk deer habitat in the area were analyzed, and a habitat model of forest musk deer was built up. The results showed that the most suitable areas for the forest musk deer covered 168 km<sup>2</sup>, only 5.28% of all the research area (3 187 km<sup>2</sup>). The most suitable areas were extremely fragmented. According to the related landscape index, the most suitable areas were all small in the region, narrow and long in figure and separated from each other. All the results showed that the habitat was not suitable for the further development of the musk deer population. [Ch, 4 tab. 27 ref.]

**Key words:** zoological ecology; geographic information system (GIS); remote sensing (RS); *Moschus berezovskii*; habitat fragmentation; landscape connectivity

生境丧失 (habitat loss) 和破碎化 (fragmentation) 已经对生物多样性造成了严重的威胁<sup>[1]</sup>。生境破碎化是指由于人类活动或自然因素导致的景观由简单、均质、连续的整体向复杂、异质、不连续的斑块镶嵌体演化的过程<sup>[2]</sup>。它的一个重要表现是由于自然环境因子在空间组合上的不匹配, 从而导致生境适宜性的降低或在空间分布上的破碎化<sup>[3]</sup>。景观连接度是指动物在该景观中移动的难易程度或者阻止动物在斑块间运动的程度, 不仅依赖于景观的特性 (结构连接度), 还依赖于动物的运动能力

收稿日期: 2007-06-05; 修回日期: 2007-09-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30370222); “211 工程”上海市重点实验室和上海城市化生态过程及恢复生态学重点实验室资助项目

作者简介: 肖宇, 硕士研究生, 从事动物生态学研究。E-mail: yuge81@yahoo.com.cn。通信作者: 徐宏发, 教授, 博士生导师, 从事动物生态学等研究。E-mail: hfxu@bio.ecnu.edu.cn

(功能连接度)<sup>[4]</sup>。因此,景观连接度在动物生境适宜性评价和生境破碎化研究中具有重要作用<sup>[5]</sup>。对生物群体来说,它可以定量描述不同生物群体单元和生物生境之间在生态过程上的联系<sup>[6]</sup>。而基于包括地理信息系统在内的3S(global positioning system, remote sensing, geographic information system)技术,利用景观连接度分析生境破碎化对动物生存和繁衍的影响,则是近年来在景观生态学的基础上逐渐兴起的热门研究领域<sup>[3,7]</sup>,也是保护生物学领域中的热点研究课题之一。陕西凤县是林麝 *Moschus berezovskii* 的主要分布区<sup>[8]</sup>。几十年来,由于人为活动,林麝生境已大大减少,种群数量下降较多。采用生态恢复的方法尽快恢复林麝生境是亟待解决的问题。笔者从野外调查中提取影响林麝生境的重要生态因子,结合遥感卫星照片,借助于地理信息系统平台,组建林麝生境适宜类型图,评价凤县林麝生境破碎化状况,为科学地进行生境恢复提出可行性建议。

## 1 研究区概况

凤县位于陕西省西南部,地处 33°34'57"~34°18'21"N, 106°24'54"~107°07'30"E,面积为 3 187 km<sup>2</sup>。地处秦岭腹地,位于我国南北气候分界线南侧,为暖温带和亚热带的过渡地带。全境皆大山,山脉呈东北—西南走向,海拔为 900~2 700 m。植物区系以华北区系成分为主,兼有华中、华东、黄土高原、内蒙古草原、东北、喜马拉雅等区系成分<sup>[9]</sup>。凤县植被的垂直分布十分明显。海拔 900~1 300 m 为低山地带,多为栓皮栎 *Quercus variabilis* 和侧柏 *Platycladus orientalis* 零星或块状混交或小片的纯林,经过多次砍伐,出现单株山杨 *Populus davidiana* 和白桦 *Betula platyphylla* 的混交派生林相。海拔 1 300~2 100 m 为中山地带,优势种以红桦 *Betula albo-sinensis*, 毛红桦 *Betula albo-sinensis* var. *septentrionalis*, 槲栎 *Quercus aliena*, 辽东栎 *Quercus liaotungensis* 和栓皮栎为主,混有冷杉 *Abies chensiensis*, 铁杉 *Tsuga chinensis* 等树种。海拔 2 100 m 以上的高山区为针叶林和高山草甸及灌丛地带,该区分布有巴山冷杉 *Abies fargesii*, 云杉 *Picea asperata*, 太白红杉 *Larix chinensis* 等<sup>[9]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 景观因子的分级标准和景观连接度的赋值

研究发现,在大尺度空间上,影响动物生境选择的大多是景观水平上的环境因子,如地形、地貌、人为干扰和植被类型等<sup>[10]</sup>。在对凤县林麝生境选择的研究中<sup>[11,12]</sup>,发现影响林麝生境的主要景观因子是海拔高度、地形坡度和植被类型,因此,笔者选择这些景观因子综合分析生境对林麝的适宜程度。根据野外林麝分布和种群密度等调查数据<sup>[11,12]</sup>,将各个景观因子按最适宜、次适宜、勉强适宜和不适宜进行分级,分级的标准见表 1。然后分别以 1.000, 0.667, 0.333 和 0 进行重要性模糊赋值<sup>[4]</sup>。

### 2.2 景观连接度评价模型的建立

在对每个景观因子赋值以后,选取常用的景观连接度模型<sup>[4,13]</sup>,以此来综合评价生境对林麝的适宜程度。模型的表达式如下: $S_j = \prod_{i=1}^n S_i$ 。其中: $S_j$ 表示不同单元的景观连接度水平; $n$ 表示所选取的生态因子的数量,这里是 3; $S_i$ 表示该单元各生态因子对林麝生境选择影响的重要性赋值。从上式可见,3种景观因子中任何一个值为 0 时,那么连接度将为 0,表示在每个单元中只要有一种景观因子不适宜于林麝生存,总体就不适宜其生存。当 3 种景观因子均达到最佳时(景观连接度各为 1),则连接度为 1,其生境最适宜动物生存。其他情况下该值应为 0~1。

表 1 不同景观因子连接度赋值

Table 1 Landscape connectivity value assigned for different landscape factors

适宜性	海拔高度/ m	地形坡度/ (°)	植被类型	景观连接 度赋值
最适宜	1 750~2 200	30~50	阔叶林	1.000
次适宜	1 300~1 750	>50	针阔混交林	0.667
勉强适宜	>2 200	10~30	针叶林	0.333
不适宜	<1 300	<10	草地、耕地及其他	0

### 2.3 计算过程

利用地理信息系统(Arcview 3.2), 将研究地区 1:100 000 地形图输入计算机中建立数字高程模型(DEM), 借助其图形叠加和空间分析功能, 依据上述分级指标派生出坡度和海拔对林麝分布影响的分级图。将该区 2001 年 8 月 landsat-7 卫星照片经过预处理, 进行图像增强和解译, 参照野外调查的全球定位系统(GPS)数据点的植被情况, 在遥感软件 ERDAS 8.7 中进行监督分类, 得到植被类型图。最后根据评价模型, 通过地理信息系统图形叠加功能和再分类来实现景观连接度的总体评价图。像元大小为 85 m×85 m。

## 3 结果

### 3.1 景观连接度

根据计算方法得到的结果见表 2。凤县最适宜林麝生存的生境面积很小, 仅 19.74 km<sup>2</sup>, 不足调查总面积的 1.00%。不适宜林麝生存的生境(景观连接度值为 0)面积约 979.00 km<sup>2</sup>, 占总面积的 30.00% 以上。景观连接度值分别为 0.22 和 0.15 的地区, 几乎占了凤县总面积的一半(表 2)。

由于表 2 显示的景观连接度过于分散, 不利于深入分析。因此, 根据常用的景观连接度分级区间<sup>[4,13]</sup>, 并结合凤县实际情况, 将表 2 内容重归类为最适宜生境、次适宜生境、勉强适宜生境和不适宜生境 4 个等级, 并赋予相应的适宜性代码, 结果如表 3。

在凤县 3 187 km<sup>2</sup>的面积内, 最适宜生境 168.11 km<sup>2</sup>, 约占总面积的 5.28%。虽然尚有 168.1 km<sup>2</sup>林麝的适宜生境, 但在空间分布上十分零散。除了几个距离比较近的小斑块组成了较大的可用斑块外, 其他大量孤立的小斑块都无法被林麝所利用。次适宜生境 1 069.56 km<sup>2</sup>, 约占总面积 33.56%, 但该等级生境大部分(约 61.0%)是景观连接度低于 0.3 的较低适宜等级的地方(表 2), 利用价值不高。另外有近 1 000 km<sup>2</sup>是完全不适宜林麝生存的, 约总面积的 30.72%(表 3)。

### 3.2 林麝各等级生境的景观指数

景观格局指标是景观生态学界广泛使用的一种定量研究方法<sup>[14]</sup>, 景观指数众多<sup>[15,16]</sup>。笔者则根据指数之间相互独立的原则<sup>[17,18]</sup>, 选取了能较好反映各种生境类型景观结构特征的几种常用景观格局指标。景观指数的描述及计算公式参见景观格局分析软件 Fragstats 3.3。各等级生境的各个景观指数为表 4。

## 4 讨论

### 4.1 林麝生境因子分析

不同的地区, 林麝栖息的环境有一定的差异。在几个地区的研究表明, 针阔混交林是林麝选择的

表 2 陕西凤县不同景观连接度的生境面积

Table 2 Habitat area of different landscape connectivities in Fengxian County, Shaanxi Province

景观连接度值	所占单元数目	面积/km <sup>2</sup>	占总面积的百分比/%
1.00	2 715	19.74	0.62
0.67	20 412	148.39	4.66
0.45	40 292	292.92	9.19
0.33	17 000	123.59	3.88
0.3	117	0.85	0.03
0.22	89 679	651.96	20.46
0.15	119 009	865.19	27.15
0.11	840	6.11	0.19
0.07	9 814	71.35	2.24
0.04	3 848	27.97	0.88
0	134 654	978.93	30.72
总计	438 380	3 187.00	100

表 3 陕西凤县林麝生境适宜性评价

Table 3 Habitat suitability assessment for *Moschus berezovskii* in Fengxian County, Shaanxi Province

景观连接度水平分级	所占单元数目	面积统计/km <sup>2</sup>	占总面积的百分比/%	生境适宜性评价
0.70~1.00	23 127	168.11	5.28	最适宜
0.21~0.60	147 088	1 069.56	33.56	次适宜
0.01~0.20	133 511	970.65	30.46	勉强适宜
0	134 654	978.93	30.72	不适宜

主要植被类型<sup>[11,19,20]</sup>。尽管在凤县个别地区调查显示针阔混交林是主要的生境<sup>[21]</sup>，但是从对凤县多次整体的调查结果来看，阔叶林是发现林麝痕迹最多的生境<sup>[11,12,22]</sup>。这种差异与当地的人为干扰有着重要的关系，特别是长达40 a的砍伐历史中，当地林业局采取了“去针留阔”的方针，采伐的树种为冷杉、桦木等，而这些恰恰是针叶林、针阔混交林的典型树种，使得当地的原生针叶林和针阔混交林破坏严重，针阔混交林也逐渐转化为阔叶林。

相对来说，阔叶林往往保存完好，受人类干扰较少，所以我们发现的林麝痕迹点主要集中在阔叶林生境中。其他地区也有类似的情况：马边大风顶自然保护区常绿阔叶林保存完好，其林麝密度相对其他植被类型就高<sup>[23]</sup>。

#### 4.2 林麝生境破碎化的现状及原因

野外调查数据和理论模型都预测，在生境破碎化过程中，景观中存在一个适宜生境比例阈值，小于这个阈值，动物种群将因为隔离效应而快速下降<sup>[24]</sup>。综合多位学者的研究结果，这个阈值为10%~50%<sup>[25]</sup>。林麝目前较适宜的生境仅5.28%，低于该阈值的下限，这也揭示了近年来凤县林麝种群不断下降的原因<sup>[11,22,26]</sup>。考虑到较高阈值是对活动能力更强的鸟类的研究结果<sup>[27]</sup>，林麝生境的适宜生境阈值下限应该高于10%。

研究揭示了陕西凤县林麝生境中各类景观的斑块结构特征及其产生原因。随着经济的发展，凤县农民的毁林开荒，乱砍乱伐，造成了原始植被类型的改变，导致林麝生境斑块化，生态功能不断丧失。不适宜生境的特征：低海拔，低坡度和耕地、草地等植被，是人为景观(居民点和农田等)最集中的部分，对其他类型景观的影响十分明显。斑块平均面积指数结果显示：最适宜生境平均面积最小，仅为0.036 8 km<sup>2</sup>，呈小块状分布。平均周长面积比表明不适宜地区的破碎化程度最大，其指数为408.99，这反映了凤县人居住分散的现状<sup>[9]</sup>，也使得更多的林麝适宜生境受到了人类活动的干扰，降低了生境的适宜度等级或被分割成小块状。从最适宜生境到不适宜生境，斑块聚集度指数从0.433, 0.528, 0.512到0.645，呈增大的趋势，最适宜生境斑块趋向于孤立，也说明其呈现孤立小块状分布，连续性很差。不适宜生境斑块更集中，且对高等级生境形成了包围(图1)，阻碍林麝的相互交流。综合以上分析，表明人类活动所导致的适宜生境丧失与景观破碎化一定程度上呈正比关系。凤县林区的林麝分布现状为：距离人为影响景观越远的地域，人类活动影响程度越低，林麝痕迹出现的频次越高<sup>[11,12,21,26]</sup>。由于人类活动的影响而造成最适宜生境被低适宜等级生境分割，生态功能的丧失十分严重，从而逐渐退化为次适宜生境，如继续恶化则退化为林麝利用率较低的勉强适宜生境和林麝完全回避的不适宜生境，出现生态功能逐步丧失的趋势。

#### 4.3 林麝生境恢复措施

在构成林麝生境的3个生态因子中，海拔和坡度是不变量，植被类型是变量。因此，在大尺度上恢复林麝生境实质就是恢复植被。在多处地区都有狭长的不适宜生境切割了次适宜生境，导致次适宜生境形状不规则，无法形成理想的核心区—缓冲区模式。而在凤县数字高程模型(DEM)图上，这些不适宜生境的海拔和坡度都是适宜的，但由于散居其中的居民的生产和生活活动，使森林植被变成了草地、耕地植被，降低了其适宜等级。因此，根据研究结果，有针对性地将这些地方的居民迁出，封山育林，并进行有效的保护和管理，生境质量可以得到较大提高，起到事半功倍的效果。

**致谢：**得到了陕西省凤县野生动物管理站站长王勇、李引让先生的帮助，野外工作得到了雷红平、唐新才、董金辉、唐杨、熊健民、李小平、蒋承庚等先生的全力支持。谨表感谢。

表4 陕西凤县林麝生境景观指数

Table 4 Landscape indices of suitability grades for *Moschus berezovskii* in Fengxian County, Shaanxi Province

生境适宜性 评价等级	斑块数	平均斑块 面积/km <sup>2</sup>	平均周长 面积比	斑块 聚集度
最适宜生境	4 566	0.036 8	379.38	0.433
次适宜生境	4 675	0.228 8	375.26	0.528
勉强适宜生境	3 860	0.251 5	367.63	0.512
不适宜生境	8 927	0.109 7	408.99	0.645

## 参考文献:

- [1] SHARON K C. Spatial ecology and biological conservation [J]. *Biol Conserv*, 2001, **100**: 1-2.
- [2] 王金亮, 陈姚. 3S技术在野生动物生境研究中的应用[J]. 地理与地理信息科学, 2004, **20** (6): 44-47.
- [3] ARNOLD G W. Incorporating landscape pattern into conservation programs [M]// HANSSON L, FAHRING L, MERRIAM G. *Mosaic Landscapes and Ecological Processes*. London: Chapman & Hall, 1995.
- [4] 陈利顶, 刘雪华, 傅伯杰. 卧龙自然保护区大熊猫生境破碎化的研究[J]. 生态学报, 1999, **19** (3): 291-297.
- [5] ADRIAENSEN F, CHARDON J P, BLUST G D, et al. The application of 'least-cost' modeling as a functional landscape model [J]. *Lands Urban Plans*, 2003, **64**: 233-247.
- [6] 陈利顶, 傅伯杰. 景观连接度的生态学意义及其应用[J]. 生态学杂志, 1996, **15** (4): 37-42.
- [7] FORMAN R T, GODRON M. *Landscape Ecology* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- [8] 江延安, 郭方正. 陕西省鹿类动物的数量估计和资源保护与利用问题的探讨[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 1997, **25** (增刊): 119-126.
- [9] 崔仰乾, 邓集体. 凤县志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1994.
- [10] 郑祥, 鲍毅新, 葛宝明. 中国有蹄类栖息地选择研究进展[J]. 浙江师范大学学报: 自然科学版, 2004, **27** (4): 392-397.
- [11] 胡忠军, 王清, 薛文杰, 等. 陕西紫柏山自然保护区林麝种群密度[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (1): 65-71.
- [12] 姜海瑞. 陕西凤县林麝种群生态学研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [13] 解伏菊, 肖笃宁, 李秀珍, 等. 大兴安岭北坡火后紫貂冬季生境适宜性与景观格局的恢复[J]. 动物学杂志, 2006, **41** (1): 60-68.
- [14] LI Xiuzhen, HE Hongshi, WANG Xugao, et al. Evaluating the effectiveness of neutral landscape models to represent a real landscape [J]. *Lands Urban Plans*, 2004, **69**: 137-148.
- [15] LOEHLE C, WEIN G. Landscape habitat diversity: a multiscale information theory approach [J]. *Ecol Model*, 1994, **73**: 311-329.
- [16] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析[J]. 生态学报, 1996, **16** (4): 337-344.
- [17] O'NEILL R V, RIITTERS K H, WICKHAMJ D, et al. Landscape pattern metrics and regional assessment [J]. *Ecosyst Health*, 1999, **5** (4): 225-233.
- [18] 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.
- [19] 王会志, 盛和林. 四川盆地西北缘林麝种群密度及保护利用[J]. 兽类学报, 1988, **8** (4): 241-249.
- [20] 杨奇森, 胡锦涛, 彭基泰. 白玉县林麝种群密度的研究[J]. 四川师范学院学报, 1989, **10** (4): 329-336.
- [21] 胡忠军, 王清, 薛文杰, 等. 紫柏山自然保护区林麝冬季生境选择[J]. 河南大学学报: 自然科学版, 2006, **36** (1): 70-74.
- [22] 刘俊峰. 陕西省凤县林麝资源现状及保护策略[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [23] 魏辅文, 王维, 杨光, 等. 四川马边大风顶自然保护区林麝种群密度初步分析[J]. 四川动物, 1995, **14** (2): 66-67.
- [24] JANSSON G, ANGELSTAM P. Threshold levels of habitat composition for the presence of the long-tailed tit (*Aegithalos caudatus*) in a boreal landscape [J]. *Lands Ecol*, 1999, **14**: 283-290.
- [25] 武正军, 李义明. 生境破碎化对动物种群存活的影响[J]. 生态学报, 2003, **23** (11): 2424-2435.
- [26] 江延安. 陕西省林麝的数量估计[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 1997, **25** (增刊): 127-130.
- [27] ANDRÉN H. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review [J]. *Oikos*, 1994, **71** (3): 355-366.