

网络出版日期:2017-08-18

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20170818.0938.014.html

青海三江源自然保护区马麝栖息地适宜性评价

张洪峰^{1,2}, 胡 罕^{1,2}, 苏丽娜^{1,3}, 车利锋¹, 封 托¹, 刘 艳¹, 李涤非¹, 吴晓民¹

(1. 陕西省动物研究所, 西安 710032; 2. 西北大学 生命科学学院, 西安 710069; 3. 陕西师范大学 生命科学学院, 西安 710062)

摘 要 2008年6月—9月采用样方法对青海三江源自然保护区马麝(*Moschus sifanicus*)栖息地进行调查, 2012年借助地理信息系统技术(GIS), 选择海拔、人为干扰距离、土地覆盖3个生态因子, 利用栖息地适宜性指数(HSI)对青海三江源自然保护区马麝栖息地进行评价。结果表明, 青海三江源自然保护区马麝适宜栖息地面积为6 089.63 km², 较适宜栖息地面积为5 204.44 km², 不适宜栖息地面积为141 047.93 km², 三者占比依次为4.00%、3.42%和92.58%。从空间分布情况来看, 适宜栖息地主要分布于保护区东部果洛州以及南部玉树州生境条件较好且人为活动干扰较低的区域, 不适宜栖息地主要分布于保护区中部的人为活动干扰较高区域及西部荒漠区。适宜生境的破碎是限制三江源自然保护区马麝种群恢复的重要因素, 建议加强马麝栖息地保护, 降低人为活动干扰, 促进其种群健康发展。

关键词 适宜性评价; 三江源自然保护区; 马麝; 栖息地

中图分类号 Q958

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2017)08-1141-07

马麝(*Moschus sifanicus*)主要分布于青藏高原及周边的四川和甘肃等区域^[1-2], 雄麝可分泌麝香, 麝香被广泛用于中国中医药在内的亚洲传统医药及香水业^[3]。因历史上过度利用及生境丧失等原因, 马麝已极度濒危, 被列为世界自然保护联盟(IUCN)红色名录的濒危物种及濒危野生动植物种国际贸易公司(CITES)附录II物种, 同时被中国列为国家I级重点保护动物^[4]。

栖息地在动物生活史中发挥着重要作用, 其质量的高低直接影响马麝的分布、数量和存活^[5]。开展野生动物栖息地的研究与保护已被公认为濒危物种保护的一条有效途径^[6]。而中国作为世界上麝类资源最为丰富的国家, 导致麝类资源濒危的一个重要因素就是其原有适宜栖息地的大量丧失和退化^[7]。

对栖息地质量的评价是制定野生动物保护管理措施的前提^[8-9], 早期的栖息地质量评价主要是根据野生动物的生态习性及野外观察资料来评定^[10], 之后出现专门为评价野生动物栖息地而构建的栖息地评价程序(Habitat evaluation proce-

dure, HEP)和栖息地适宜性指数模型(Habitat suitability index, HSI)。当前很多研究都是基于栖息地适宜性指数模型评估野生动物的栖息地质量^[11-15]。“3S”技术, 即遥感技术(RS)、全球定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)在栖息地评价过程中的综合利用, 使得从景观尺度研究野生动物栖息地质量成为可能^[16-23]。

目前, 关于马麝的栖息地研究资料有限, 多集中于生境选择和利用^[24-25], 而系统的关于马麝栖息地适宜性评价未见报道, 笔者于2012年利用地理信息系统技术进行青海三江源自然保护区马麝栖息地评价, 以期马麝的保护与管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

青海三江源自然保护区位于青海省南部(图1), 是长江、黄河和澜沧江的源头, 地理位置为31°39′~36°16′N, 89°45′~102°23′E, 年平均气温为-5.6~3.8℃, 年平均降水量262.2~772.8 mm, 年日照时数2 300~2 900 h。保护区

收稿日期:2016-05-03 修回日期:2016-06-17

基金项目:青海省野生动植物和自然保护区管理局项目(2008K01);青海省生态环境遥感监测中心项目(2012K03)。

第一作者:张洪峰,男,硕士研究生,研究方向为动物生态学。E-mail:zhanghongfeng55@163.com

通信作者:吴晓民,男,研究员,研究方向为野生动物保护。E-mail:wuxiaomin66@163.com

总面积为 15.23 万 km², 行政区域包括玉树、果洛、海南、黄南 4 个藏族自治州的 16 个县和格尔木市的唐古拉乡。保护区以山地为主, 山脉绵延、地势高耸、地形复杂。区内气候属典型的高原大

陆性气候, 冷热两季交替、干湿两季分明。自然环境类型多样, 从东南向西北依次分布着针叶林、灌丛、高寒草甸、高寒草原与高山稀疏植被等植被类型。

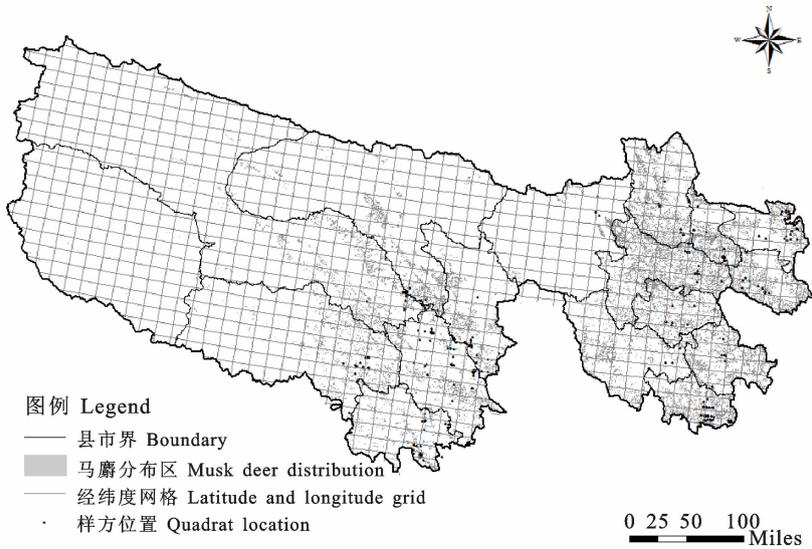


图 1 研究区域——三江源自然保护区

Fig. 1 Study area-Sanjiangyuan Nature Reserve

1.2 栖息地调查

2008 年 6 月 9 日, 采用样方法对青海三江源自然保护区马麝栖息地进行调查, 将三江源保护区马麝 4 种栖息生境看做 4 个抽样层, 在每个抽样层内选择有代表性的样地, 在选择好的样地内随机布设调查样方, 并标注在 1:100 000 的地形图上。共布设调查样方 588 个, 其中马麝利用样方 198 个, 未利用样方 390 个, 样方大小为 10 m×10 m, 记录海拔、植被类型、乔木郁闭度、灌木盖度、基底特征、坡向、坡位、坡度、隐蔽条件、水源距离、人为干扰 11 个生态因子, 其定义及测定方法如下。

海拔(m): 样地内马麝新鲜活动痕迹中心所处地的海拔高度。

植被类型: 样地植被的主要生长型外貌, 分为灌丛、灌木、针阔混交林、针叶林 4 种类型。

乔木郁闭度(%): 估测样地中心点 4 个方向植被上层林冠对地面的覆盖百分比, 取平均值。

灌木盖度(%): 样地中灌丛面积占样地面积的比率。

基底特征: 分土质、石质、偏土或偏石 3 种类型。

坡向: 样地所处地的坡向, 分为东坡(45°~135°)、南坡(135°~225°)、西坡(225°~315°)和北

坡(315°~45°)。

坡位: 样地所处的位置, 分上坡位、中坡位和下坡位 3 个等级。

坡度: 样地的坡度, 分平缓坡(0°~5°)、斜坡(6°~15°)、陡坡(16°~25°)和极陡坡(≥26°) 4 个等级。

隐蔽条件: 以痕迹点地面高度 60 cm 高度为中心, 沿痕迹前、后、左、右 4 个方向目测可视距离, 以平均距离为准, 将隐蔽条件分好(≤10 m)、中(10~20 m)、差(≥20 m) 3 个等级。

水源距离(m): 痕迹距水源距离, 分近(≤500 m)、中(500~1 000 m)和远(≥1 000 m) 3 个等级。

人为干扰距离(m): 痕迹点距人类活动(居民点, 种植点, 矿山, 放牧点以及道路等)的距离, 分近(≤3 000 m)、中(3 000~9 000 m)和远(≥9 000 m) 3 个等级。

1.3 评价指标的确定

根据马麝栖息地调查数据, 对三江源自然保护区马麝夏季利用样地变量进行主成分分析, 海拔、植被类型、人为干扰、水源、基底特征 5 个变量的累积贡献率达 80.166%, 可反映马麝的夏季栖息地特征。因此, 选取海拔、土地覆盖(包括植被类型、水源以及基底特征)、人为干扰距离 3 个生

态因子为马麝栖息地评价因子。利用 Vanderloeg 选择系数和 Scavia 选择指数^[26] 衡量马麝对各因子的喜好程度, 以此为依据确定单因素评价准则, 计算方法如下:

$$W_i = \frac{r_i/p_i}{\sum r_i/p_i}$$

$$E_i = \frac{W_i - 1/n}{W_i + 1/n}$$

式中, W_i 为选择系数, E_i 为选择指数, p_i 表示所有调查样方中具有 i 特征等级的样方所占的比例, r_i 表示利用样方中具 i 特征等级的样方所占的比例, n 为某因子的等级数 ($i=1, 2, \dots, n$)。 E_i 变幅为 $-1 \sim 1$, 表示马麝对第 i 类栖息地的选择程度, 根据 E_i 值不同, 将生境分为偏爱生境 ($0.1 < E_i \leq 1$)、随机选择生境 ($-0.1 \leq E_i \leq 0.1$) 和回避生境 ($-1 \leq E_i < -0.1$)。根据 E_i 取值范围进行单因素栖息地适宜性评价, 在此基础上得到单因素栖息地适宜性评价图层。

表 1 青海三江源自然保护区马麝栖息地适宜性评价指标

Table 1 Indicators of habitat suitability assessment for musk deer in Sanjiangyuan Nature Reserve

单因素栖息地适宜性评价 Habitat assessment of single factor			栖息地综合适宜性评价 Habitat assessment of multiple factors			
E_i	评价等级	Assessment grade	V_n	HSI	评价等级	Assessment grade
$-1 \leq E_i < -0.1$	不适宜	Unsuitable	0	$HSI=0$	不适宜	Unsuitable
$-0.1 \leq E_i \leq 0.1$	较适宜	Sub-suitable	1	$1 \leq HSI \leq 1.5$	较适宜	Sub-suitable
$0.1 < E_i \leq 1$	适宜	Suitable	2	$1.5 < HSI \leq 2.0$	适宜	Suitable

1.4 数据来源

马麝栖息地选择数据来源于笔者 2008 年青海麝类资源专项调查, 研究区数字高程模型 (Digital elevation model, DEM) 由青海省生态环境遥感监测中心提供 (2004 年采集, 分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$); 土地覆盖数据为青海省生态环境遥感监测中心 2004 年根据 LANDSAT TM 影像解译出的 $1:100\,000$ 土地覆盖数据。利用 ArcGIS9.0 的图形叠加和空间分析功能, 依据单因素适宜度分级标准获得青海三江源自然保护区马麝栖息地海拔、土地覆盖、人为干扰距离等单因素适宜性评价图及其各等级栖息地斑块面积, 之后应用评价模型, 通过 ArcGIS9.0 图形叠加功能和再分类, 得到青海三江源自然保护区马麝栖息地多因素综合适宜性评价图。

2 结果与分析

2.1 单因素适宜性评价

海拔上的分布, 马麝对海拔 $3\,000 \sim 4\,500 \text{ m}$

用栖息地适宜性指数模型 (HSI) 对青海三江源自然保护区马麝栖息地适宜性进行评价。模型为: $HSI = (V_1 V_2 V_3 \dots V_n)^{1/n}$

式中, $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ 为单因素栖息地适宜性评价价值。

对模型中 V_n 变量进行赋值 ($V=0$ 表示不适宜, $V=1$ 表示较适宜, $V=2$ 表示适宜), 根据模型计算出 HSI 取值为 $0 \sim 2$ (本模型中 HSI 取值共有 5 个, 分别为 $0, 1.00, 1.26, 1.59, 2.00$), 当 $HSI=0$ 时, 被评价区域至少有 1 类栖息地是不适宜的, 即该区域是不适宜马麝栖息的地方; 当 $HSI>0$ 时, 被评价区域各类栖息地是适宜的, 即该区域是适宜马麝栖息的地方。为进一步比较栖息地适宜性的高低, 当 $1 \leq HSI \leq 1.5$ 时表示该区域是马麝较适宜栖息地, $1.5 < HSI \leq 2.0$ 时表示该区域是马麝适宜栖息地 (表 1)。

区域有明显的偏好 ($E_i=0.368$), 对海拔 $4\,500 \sim 5\,050 \text{ m}$ 区域无明显的偏好 ($E_i=-0.089$), 而在海拔 $3\,000 \text{ m}$ 以下及 $5\,050 \text{ m}$ 以上区域内未观察到其活动痕迹, 表明马麝回避此类生境 ($E_i=-1$); 人为干扰上的分布, 偏好距离道路和居民点大于 $9\,000 \text{ m}$ 区域 ($E_i=0.265$), 随机选择 $3\,000 \sim 9\,000 \text{ m}$ 区域 ($E_i=-0.050$), 而回避小于 $3\,000 \text{ m}$ 区域 ($E_i=-0.454$); 土地覆盖上的分布, 灌木林、灌丛、疏林地 ($E_i=0.355$) 区域内的 E_i 大于 0.1 , 偏好于这种土地覆盖类型栖息地, 对有林地、裸岩石砾地区域为随机选择 ($E_i=-0.052$), 而回避耕地、草地、水域及未利用土地 ($E_i=-1$) (表 2)。

单因素评价结果表明: 海拔因素, 三江源自然保护区内马麝栖息地适宜、较适宜、不适宜的面积分别为 $57\,449.98 \text{ km}^2$ (占 37.71%)、 $78\,257.13 \text{ km}^2$ (占 51.37%)、 $1\,634.89 \text{ km}^2$ (占 10.92%), 适宜及较适宜栖息地主要分布在保护区的东部和南部大部分地区以及中部小部分地区; 人为干扰距

表 2 青海三江源自然保护区马麝栖息地单因素评价标准

Table 2 The criteria of habitat suitability evaluation for musk deer in Sanjiangyuan Nature Reserve

因子 Factor	适宜 Suitable				较适宜 Sub-suitable				不适宜 Unsuitable			
	特征等级 Grade	Grade	W_i	E_i	特征等级 Grade	Grade	W_i	E_i	特征等级 Grade	Grade	W_i	E_i
海拔 Altitude	3 000~4 500 m		0.721	0.368	4 500~5 050 m		0.279	-0.089	<3 000 或 >5 050 m		0	-1
人为干扰距离 Anthropogenic dispersion	>9 000 m		0.574	0.265	3 000~9 000 m		0.301	-0.050	<3 000 m		0.125	-0.454
土地覆盖 Land cover	灌木林、灌丛、疏林地 Shrub, shrub and woodland		0.670	0.355	有林地、裸岩石砾地 Woodland, bare rock		0.300	-0.052	耕地、草地、水域 Cultivated land, grassland and water area		0	-1

离,三江源自然保护区内马麝栖息地适宜、较适宜、不适宜的面积分别为 85 311.56 km² (56.00%)、47 573.70 km² (31.23%)、19 456.75 km² (12.77%),适宜及较适宜栖息地主要分布在保护区的西部以及中部和东部小部分地区;土地覆盖因素,三江源自然保护区内马麝栖息地适宜、较适宜、不适宜的面积分别为 9 170.75 km² (6.02%)、8 947.79 km² (5.87%)、134 223.46 km² (88.11%),适宜及较适宜栖息地主要分布在保护区的东部和南部小部分地区(图 2~图 4)。

州大部分地区以及南部的玉树州小部分地区,这些区域植被资源相对较好,马麝栖息地基本上呈现连续分布;不适宜栖息地面积为 141 047.93 km²,主要分布于保护区中部人为活动干扰较高的区域以及西部荒漠区,这一区域多以高寒草原和高寒草甸为主,几乎很少有马麝活动。较适宜栖息地面积为 5 204.44 km²,主要分布于二者的过渡区域(图 5)。

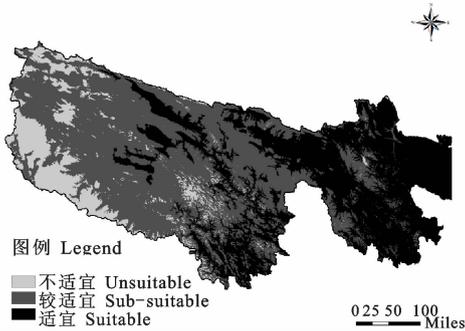


图 2 三江源保护区马麝海拔适宜性评价
Fig. 2 Altitude suitability evaluation for musk deer in Sanjiangyuan Nature Reserve

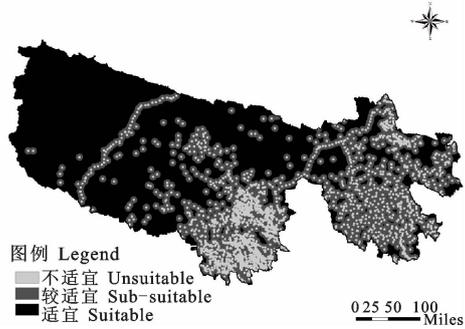


图 3 三江源保护区马麝人为干扰适宜性评价
Fig. 3 Human disturbance suitability evaluation for musk deer in Sanjiangyuan Nature Reserve

2.2 多因素适宜性评价

青海三江源自然保护区马麝适宜栖息地面积为 6 089.63 km²,主要分布在保护区东部的果洛

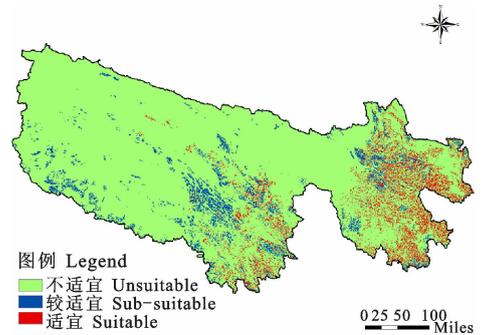


图 4 三江源保护区马麝土地覆盖适宜性评价
Fig. 4 Land cover suitability evaluation for musk deer in Sanjiangyuan Nature Reserve

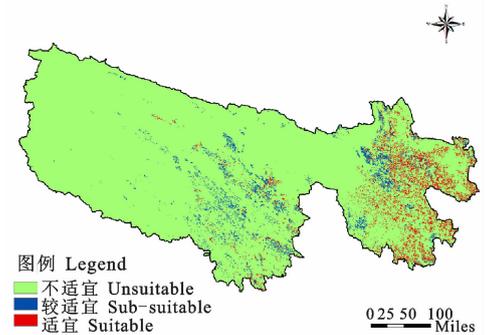


图 5 三江源保护区马麝栖息地综合适宜性评价
Fig. 5 Habitat suitability assessment for musk deer in Sanjiangyuan Nature Reserve

3 讨论

3.1 栖息地适应性评价模型的选择

在野生动物栖息地适宜性评价过程中,评价指标和评价模型选取是否合理会直接影响评价结

果的准确性,在实际应用和操作过程中,往往很难取得栖息地所有因子的数据。因此,评价指标的选取只能从合理性、可操作性以及重要性等方面来考虑。栖息地适宜度指数用来定量生物对栖息地偏好与栖息地生境因子的关系,该方法由美国鱼类及野生动物署在栖息地评估程序(HEP)中率先提出,具有简便,易操作的优点,不受研究区域限制,只需取得物种对生境选择的数据和相关环境数据,便可定量评价和预测其栖息地,但该方法没有考虑栖息地变量之间的相互作用和相关性,在单因素评价时容易出现偏差;回归模型是以物种所在区域的各种生境因子为自变量,通过回归分析建立物种反应与环境变量之间的关系,以此来评价和预测物种的生境,该方法要求高质量的物种“出现”和“不出现”数据,在野外调查中,取得物种没有出现的数据比较困难,有时候物种出现也不一定留下痕迹,一定程度上影响模型的应用^[27]。生态位模型是利用物种已知的分布数据和相关环境变量,根据一定的算法来推算物种的生态需求,只需要“物种出现点”和环境变量就能对物种生境进行预测,但生态位模型所模拟的是现实生态位或潜在生态位,并不是基础生态位,物种间的相互作用及物种的迁移能力限制其在特定地理空间的反映^[28]。综合考虑几种模型的优缺点,本次评价将马麝生物学习性和青海三江源地区的环境特点结合起来,通过主成分分析选取海拔、土地覆盖以及人为干扰 3 个指标,采用栖息地适宜度指数模型进行评价。

3.2 影响马麝对栖息地选择的生境因子

本研究中,由于土地覆盖差异导致马麝不适宜栖息地的比例达 88.11%,而人为干扰和海拔因素影响导致的不适宜栖息地比例为 12.77%和 10.92%,可见生境类型差异是影响该区域马麝分布的主要因素。张洪茂等^[29]研究认为影响马麝(横断山亚种)夏季生境选择的主要生态因子是植被类型、隐蔽条件、坡向和人为干扰,马麝生性胆怯而孤独,白天多隐蔽于干燥、避风雨、温暖而安全的地方休息或反刍,与此相适应的植被类型、隐蔽条件、人为干扰及天敌等也就成为影响其生境选择的重要因子。Yang 等^[7]研究认为马麝对植被选择存在一定的偏好,太低的草甸类植被不易遮掩其行踪,而过于高大枝叶繁茂的植被往往会影响其通行,且易于被天敌伏击。在长期的进化中马麝逐渐适应疏林灌丛、灌木这类植被,其移

动、卧息、觅食、繁殖几乎都在这类环境中完成。颜忠诚等^[30]认为动物对其种生境的喜好,部分是由遗传决定的,同时又是适应性的,因为生境的质量随时间、地点发生变化,对幼期动物来说,选择有效的生境和形成对某一生境的喜好,可能是适应性的结果。

4 结论

青海三江源自然保护区马麝适宜栖息地面积为 6 089.63 km²,较适宜栖息地面积为 5 204.44 km²,不适宜栖息地面积为 141 047.93 km²,三者占比依次为 4.00%、3.42%和 92.58%。从空间分布情况来看,适宜栖息地主要分布于保护区东部果洛州以及南部玉树州生境条件较好且人为活动干扰较低的区域,不适宜栖息地主要分布于保护区中部人为活动干扰较高的区域以及西部荒漠区。三江源自然保护区马麝适宜栖息地斑块被较适宜和不适宜栖息地隔离,且分布上较为零散,有些小斑块可能无法被马麝所利用而成为不适宜的栖息地,一定程度上会影响马麝的迁移和扩散。从栖息地空间分布情况来看,三江源自然保护区马麝的栖息地破碎化状况不容乐观,急需加强栖息地管理与保护。

适宜生境的破碎是限制三江源自然保护区马麝种群恢复的重要因素,保护区南部地区毡房密度较高,人类居住对马麝栖息地干扰的强度较大,解决好上述区域内牧民的搬迁问题是保护马麝栖息地生态环境的重要基础。而保护区东部道路密度较高,人类交通活动对马麝栖息地的干扰强度较大,减轻交通活动的强烈干扰是该区域内保护马麝栖息地生态环境的关键。

参考文献 Reference:

- [1] MENG X X, YANG Q S, XIA L, *et al.* The temporal estrous patterns of female alpine musk deer in captivity[J]. *Applied Animal Behavior Science*, 2003, 82(1): 75-85.
- [2] 吴家炎, 王伟. 中国麝类[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 30-33.
WU J Y, WANG W. The Musk Deer of China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006: 30-33 (in Chinese).
- [3] MENG X X, ZHOU C Q, HU J C, *et al.* Musk deer farming in China[J]. *Animal Science*, 2006, 82(1): 1-6.
- [4] GENG S S, MA S L. Decline of musk deer in China and prospects for management [J]. *Environmental Conservation*, 2000, 27(4): 323-325.
- [5] CODY M L. An Introduction to Habitat Selection in Birds

- [M]. New York: Academic Press, 1985, 4-52.
- [6] PALMA L, BEJA P, RODRIGUES M. The use of sighting data to analyse Iberian lynx habitat and distribution[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1999, 36(5): 812-824.
- [7] YANG Q S, MENG X X, XIA L, *et al.* Conservation status and causes of decline of musk deer (*Moschus spp.*) in China [J]. *Biological Conservation*, 2003, 109(3): 333-342.
- [8] STORE R, KANGAS J. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modeling[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 55(2): 79-93.
- [9] SINGH N J, YOCCOZ N G, BHATNAGAR Y V, *et al.* Using habitat suitability models to sample rare species in high-altitude ecosystems; a case study with Tibetan argali [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2009, 18(11): 2893-2908.
- [10] BROOKS R P. Improving habitat suitability index models [J]. *Wildlife Society Bulletin*, 1997, 25(1): 163-167.
- [11] LAUVER C L, BUSBY W H, WHISLER J L. Testing a GIS model of habitat suitability for a declining grassland bird[J]. *Environmental Management*, 2002, 30(1): 88-97.
- [12] DETTKI H, LÖFSTRAND R, EDENIUS L. Modeling habitat suitability for moose in coastal northern Sweden; empirical *vs* process-oriented approaches [J]. *AMBI: A Journal of the Human Environment*, 2003, 32(8): 549-556.
- [13] VOSPERNIK S, BOKALO M, REIMOSER F, *et al.* Evaluation of a vegetation simulator for roe deer habitat predictions [J]. *Ecological Modelling*, 2007, 202(3/4): 265-280.
- [14] 金龙如, 孙克萍, 贺红士, 等. 生境适宜度指数模型研究进展[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(5): 841-846.
- JIN L R, SUN K P, HE H SH, *et al.* Research advances in habitat suitability index model [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(5): 841-846 (in Chinese with English abstract).
- [15] 易雨君, 程曦, 周静. 栖息地适宜度评价方法研究进展[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(5): 887-893.
- YI Y J, CHENG X, ZHOU J. Research progress in habitat suitability assessment methods [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22(5): 887-893 (in Chinese with English abstract).
- [16] 肖燚, 欧阳志云, 朱春全, 等. 岷山地区大熊猫生境评价与保护对策研究[J]. *生态学报*, 2004, 24(7): 1373-1379.
- XIAO Y, OUYANG ZH Y, ZHU CH Q, *et al.* An assessment of giant panda habitat in Minshan, Sichuan, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1373-1379 (in Chinese with English abstract).
- [17] 鲍毅新, 郑祥, 葛宝明. 浙江黑麂栖息地评价及保护对策[J]. *生态学报*, 2006, 26(8): 2425-2431.
- BAO Y X, ZHENG X, GE B M. An assessment and protective strategy of black muntjac (*Muntiacus crinifrons*) habitat in Zhejiang province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2425-2431 (in Chinese with English abstract).
- [18] 张恩迪, 藤丽薇, 吴咏蓓. 江苏盐城自然保护区獐栖息地的质量评价[J]. *兽类学报*, 2006, 26(4): 368-372.
- ZHANG E D, TENG L W, WU Y B. Habitat suitability evaluation for the Chinese water deer (*Hydropotes inermis*) in Yancheng Nature Reserve, China [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2006, 26(4): 368-372 (in Chinese with English abstract).
- [19] DUSSAULT C, COURTOIS R, OUELLET J P. A habitat suitability index model to assess moose habitat selection at multiple spatial scales [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2006, 36(5): 1097-1107.
- [20] VINA A, BEARER S, CHEN X D, *et al.* Temporal changes in giant panda habitat connectivity across boundaries of Wolong Nature Reserve, China [J]. *Ecological Applications*, 2007, 17(4): 1019-1030.
- [21] 李摇佳, 李言阔, 缪沪君, 等. 江西桃红岭国家级自然保护区梅花鹿生境适宜评价[J]. *生态学报*, 2014, 34(5): 1274-1283.
- LI Y J, LI Y K, MIAO L J, *et al.* Habitat assessment of sika deer (*Cervus nippon*) in the Taohongling National Nature Reserve, Jiangxi province, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(5): 1274-1283 (in Chinese with English abstract).
- [22] 刘鹏, 代娟, 曹大藩, 等. 普洱市亚洲象栖息地适宜度评价[J]. *生态学报*, 2016, 36(13): 1-8.
- LIU P, DAI J, CAO D P, *et al.* Habitat suitability assessment for Asian elephant in Pu'er prefecture in the Yunnan province of China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(13): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [23] 吴文, 李月辉, 胡远满, 等. 小兴安岭南麓马鹿冬季适宜生境评价[J]. *生物多样性*, 2016, 24(1): 20-29.
- WU W, LI Y H, HU Y M, *et al.* Suitable winter habitat for *Cervus elaphus* on the southern slope of the Lesser Xing'an Mountains [J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(1): 20-29 (in Chinese with English abstract).
- [24] 佟梦, 潘世秀, 王向伟, 等. 甘肃兴隆山自然保护区马麝夏季栖息地特征及生境选择格局[J]. *动物学研究*, 2010, 31(6): 610-616.
- TONG M, PAN SH X, WANG X W, *et al.* Summer habitat selection of alpine musk deer in Xinglongshan National Nature Reserve, Northwestern China [J]. *Zoological Research*, 2010, 31(6): 610-616 (in Chinese with English abstract).
- [25] 孟秀祥, 潘世秀, 栾晓峰, 等. 兴隆山自然保护区马麝春季生境选择[J]. *生态学报*, 2010, 30(20): 5509-5517.
- MENG X X, PAN SH X, LUAN X F, *et al.* Spring habitat selection by alpine musk deer (*Moschus sifanicus*) in Xinglongshan National Nature Reserve, Western China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(20): 5509-5517 (in Chinese with English abstract).
- [26] VANDERPLOEG H A, SCAVIA D. Two electivity indices for feeding with special reference to zooplankton grazing [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1979, 36(4): 362-365.
- [27] 邹丽丽, 陈晓刚, 何莹, 等. 基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价[J]. *生态学报*, 2012, 32(12): 3722-3728.
- ZOU L L, CHEN X X, HE Y, *et al.* Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012,

- 32(12);3722-3728(in Chinese with English abstract).
- [28] 罗 翀,徐卫华,周志翔,等. 基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测[J]. 生态学报,2011,31(5):1221-1229.
LUO C,XU W H,ZHOU ZH X,*et al.* Habitat prediction for forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Qinling mountain range based on niche model[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2011,31(5):1221-1229 (in Chinese with English abstract).
- [29] 张洪茂,胡锦涛. 川西北高原马麝(横断山亚种)的夏季生境选择[J]. 四川动物,2004,23(2):98-103.
ZHANG H M,HU J CH. Habitat selection of *Moschus chrysogaster sifanicus* in summer in northwestern plateau,Sichuan province[J]. *Sichuan Journal of Zoology*,2004,23(2):98-103(in Chinese with English abstract).
- [30] 颜忠诚,陈永林. 动物的生境选择[J]. 生态学杂志,1998,17(2):43-49.
YAN ZH CH,CHEN Y L. Habitat selection in animals [J]. *Chinese Journal of Ecology*,1998,17(2):43-49 (in Chinese with English abstract).

Habitat Suitability Assessment of Musk Deer(*Moschus sifanicus*) in Sanjiangyuan Nature Reserve, Qinghai Province

ZHANG Hongfeng^{1,2}, HU Han^{1,2}, SU Lina^{1,3}, CHE Lifeng¹,
FENG Tuo¹, LIU Yan¹, LI Difei¹ and WU Xiaomin¹

(1. Shaanxi Institute of Zoology, Xi'an 710032, China; 2. The College of Life Science, Northwest University, Xi'an 710069, China; 3. College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract Habitat evaluation has an important significance for management of wildlife populations and conservation planning. In this study, based on the data on habitat used by musk deer in Sanjiangyuan Nature Reserve from June to September of 2008, which was investigated by quadrat method, we used habitat suitability index model and geographic information system technology (GIS) to assess the suitability of the habitat for musk deer in 2012. Elevation, human disturbance and land cover were selected as factors for habitat suitability assessment. The results showed that the areas of suitable, sub-suitable and unsuitable habitat were 6 089.63 km², 5 204.44 km² and 141 047.93 km², respectively, accounting for 4.00%, 3.42% and 92.58% of the total area. Suitable habitat was mainly located in Guoluo Prefecture and Yushu Prefecture, the eastern and southern of Sanjiangyuan Nature Reserve, respectively, in which the vegetation condition is better and human activity is lower, and unsuitable habitat was mainly located in the central and desert region in the western of Sanjiangyuan Nature Reserve, where has high-frequency human activities and harsh environments. Habitat fragmentation might be the main limiting factors for population recovery of musk deer in Sanjiangyuan Nature Reserve, we suggest that it is very important to take reasonable measures to manage and reduce human disturbance.

Key words Suitability evaluation; Sanjiangyuan Nature Reserve; Musk deer; Habitat

Received 2016-05-03 **Returned** 2016-06-17

Foundation item Qinghai Provincial Bureau of Wildlife and Nature Reserve Management (No. 2008K01); Ecological Environment Remote Sensing Monitoring Center of Qinghai Province (No. 2012K03).

First author ZHANG Hongfeng, male, master student. Research area: animal ecology. E-mail: zhanghongfeng55@163.com

Corresponding author WU Xiaomin, male, research fellow. Research area: wildlife conservation. E-mail: wuxiaomin66@163.com