

DOI: 10.5846/stxb202105131255

杨光美, 郭群毅, 杨雄威, 彭彩淳, 张明明, 胡灿实, 粟海军. 基于红外相机数据的贵州高原山地环境野猪生境选择研究. 生态学报, 2023, 43(4): 1449-1460.

Yang G M, Guo Q Y, Yang X W, Peng C C, Zhang M M, Hu C S, Su H J. Habitat selection of wild boar (*Sus scrofa*) in mountain area on Guizhou Plateau, China based on camera-trapping dataset. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(4): 1449-1460.

基于红外相机数据的贵州高原山地环境野猪生境选择研究

杨光美^{1,2}, 郭群毅³, 杨雄威^{1,2}, 彭彩淳^{1,2}, 张明明^{1,2}, 胡灿实^{2,4}, 粟海军^{1,2,*}

1 贵州大学林学院, 贵阳 550025

2 贵州大学生物多样性与自然保护研究中心, 贵阳 550025

3 贵州省野生动物和森林植物管理站, 贵阳 550001

4 贵州大学生命科学学院, 贵阳 550025

摘要:近年来野猪(*Sus scrofa*)在我国南方山地森林生态系统中种群数量激增、生态影响强烈,是人兽冲突的典型代表,然而对其生境选择规律仍缺乏深入研究。利用 2015 年 7 月至 2020 年 1 月的长时红外相机监测数据,对贵州高原几处环境中野猪的生境选择进行了研究,共得到野猪利用样方 201 个,非利用样方 121 个。(1) Vanderploeg 和 Scavia 选择指数分析表明,野猪喜爱活动于坡度 $\leq 20^\circ$ 、乔木郁闭度 > 0.8 和草本盖度为 0.2—0.4 的生境类型;不喜爱的生境类型为海拔 > 1600 m,坡度 $> 25^\circ$,草本盖度 < 0.1 ,距道路距离 ≤ 100 m。(2)野猪生境资源选择函数为 $\text{Logit}(P) = 3.226 - \text{海拔} \times 0.002 - \text{坡度} \times 0.161 + \text{乔木郁闭度} \times 2.078 + \text{灌木平均高} \times 0.401 + \text{草本盖度} \times 3.566 + \text{距道路距离} \times 0.001 + \text{距居民点距离} \times 0.0003$,选择概率为 $P = e^{\text{logit}(P)} / (1 + e^{\text{logit}(P)})$,受试者工作特征曲线(ROC)评估模型的预测精度为 87.8%,能够较好预测野猪的生境选择。(3)利用 Mann-Whitney U 和 Chi-Square Test 检验不同样区 2 组样方之间野猪对各生境因子的选择差异表明,野猪的生境选择性还受到地形地貌、植被类型和人为干扰等因素影响。研究可为进一步深入开展华南地区野猪生态学研究,助力野猪冲突管理及科学保护提供有益参考。

关键词:野猪;生境选择;空间利用;红外相机;贵州高原

Habitat selection of wild boar (*Sus scrofa*) in mountain area on Guizhou Plateau, China based on camera-trapping dataset

YANG Guangmei^{1,2}, GUO Qunyi³, YANG Xiongwei^{1,2}, PENG Caichun^{1,2}, ZHANG Mingming^{1,2}, HU Canshi^{2,4}, SU Haijun^{1,2,*}

1 College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China

2 Biodiversity and Nature Conservation Research Center, Guizhou University, Guiyang 550025, China

3 Guizhou Wildlife and Forest Plant Management Station, Guiyang 550001, China

4 College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China

Abstract: In recent years, wild boar (*Sus scrofa*) has been regarded as a typical representative of human-animal conflicts resulted from the population increasing sharply and its consequences of ecological impacts in the mountainous forest ecosystem of southern China. However, few studies can be found on wild boar's habitat selection in southern mountain area so far. In this study, a long-term camera-trapping dataset (from July 2015 to January 2020) obtained from several

基金项目:国家自然科学基金项目(32060307);贵州省林业科研课题(黔林科合J字[2020]07号);2018—2020年国家林草局非洲猪瘟防控野猪调查监测贵州专项资助及生态环境部生物多样性保护专项(2110404)

收稿日期:2021-05-13; 采用日期:2022-06-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hjsu@gzu.edu.cn

representative places in Guizhou Plateau were analyzed, and a total of 201 wild boar used plots and 121 random plots were obtained. 1) Vanderploeg and Scavia Selection Index analysis showed that the wild boar preferred the habitat where the slope $\leq 20^\circ$, tree canopy coverage >0.8 and herb coverage $0.2-0.4$, while avoided the habitat where the slope $>25^\circ$, herb cover <0.1 and the closest distance from road ≤ 100 m. 2) The Resource Selection Function model of wild boar's habitat selection can be calculated as $\text{Logit}(P) = 3.226 - \text{altitude} \times 0.002 - \text{slope} \times 0.161 + \text{canopy density of trees} \times 2.078 + \text{shrub average height} \times 0.401 + \text{herb coverage} \times 3.566 + \text{distance from the nearest road} \times 0.001 + \text{distance from the nearest residential area} \times 0.0003$, accordingly, the probability of this model was expressed as $P = e^{\text{logit}(p)} / (1 + e^{\text{logit}(p)})$. The prediction accuracy of the model evaluated by the Receiver Operating Characteristic (ROC) can reach to 87.8%, which indicated the wild boar habitat selection behavior can be predicted well. 3) Mann-Whitney U and Chi-Square Test were used to examine the differences in the selection of wild boar for each habitat factor between the used and random plots in different study sites, the factors including topography, vegetation types and human interference also influenced the habitat selection of wild boars. Our findings could furtherly enrich the the ecology of wild boars living in southern China, and would be also a useful reference toward the managements on human-wildlife conflicts and conservation.

Key Words: wild boar; habitat selection; space use; camera trapping; Guizhou Plateau

生境选择是个体或群体为了觅食、卧息、逃避敌害和繁殖等,在可获得的生境中寻找相对适宜生境的过程^[1]。生境选择影响着动物的生存和繁衍,是动物生态学研究的核心内容之一^[2-3]。决定动物生境选择的因素是复杂的,包括动物和生境本身的特性,食物资源的有效性,捕食和竞争等种内和种间关系,任何引起动物各种活动、行为、生理和心理等改变以及引起生境变化的因素均影响动物的生境选择^[4]。因此,研究动物生境选择的内在特征,找出影响动物选择行为的关键因子或者确定驱动动物生境选择的机制是研究动物生境选择的重要内容,无论是对生物多样性保护,还是对动物资源的管理都具有及其重要的意义^[5]。

野猪(*Sus scrofa*)广泛分布于欧亚大陆,亚种众多,在我国存在至少7个亚种,贵州山地环境中分布的野猪隶属于华南亚种(*S.s. moupinensis*)^[6]。随着我国生态保护成效显著,全面禁止猎杀野生动物的背景下,加之野猪本身的生物学特性可塑性极强,野猪成为当前种群增长最快的大型偶蹄类动物,对自然生态系统产生了严重的负面影响,并成为人与野生动物冲突的典型代表^[7]。尽管野猪是较为常见的大型兽类,但目前国内对野猪生境选择的研究却相对较少,且多集中于北方地区^[8-10],而对于我国南方野猪(华南亚种)的生境选择仅有滕丽微等^[11]报导过,研究方法则多采用传统的样线、样方调查法,受人为因素影响较大。而红外相机监测技术较传统的调查方法由于具有无损伤,干扰小和长期监测等特点,已被广泛应用于野生动物研究^[12]。本研究选取贵州高原山地环境中4处具有代表性的区域,利用2015年7月至2020年1月的长时红外相机监测数据,对贵州山地环境野猪的生境选择进行研究,更深入地了解野猪行为生态规律,为近年南方山地激增的野猪危害制定防控措施计划提供借鉴,促进野生野猪种群资源的有效管理和科学保护。

1 研究区概况

贵州高原地处我国西南,位于云贵高原向东部低山丘陵过渡的高原斜坡地带,也是突起于四川盆地和广西丘陵盆地之间的强烈岩溶化高原山区,岩溶地貌发育典型,地势西高东低,平均海拔约为1100 m^[13]。贵州高原属中亚热带东部湿润季风气候,水热同季,年平均气温约15°C。大部分地区地带性植被为中亚热带常绿阔叶林,中部和北部为中亚热带常绿阔叶林,东部为湿润性常绿阔叶林,西部为半湿润常绿阔叶林^[14]。据第一次全国陆生野生动物资源调查,贵州省野猪种群数量约有65万头。研究分别选取贵州北偏中部代表喀斯特地貌的宽阔水国家级自然保护区(107°02'—107°14'E;28°06'—28°19'N,以下简称“宽阔水”)和东北部的麻阳河国家级自然保护区(108°3'—108°19'E,28°37'—28°54'N,以下简称“麻阳河”),东部代表常态地貌的梵净山国家级自然保护区(108°45'—108°48'E,27°49'—28°1'N,以下简称“梵净山”)和北部代表丹霞地貌为

主的习水国家级自然保护区(105°50′—106°29′E, 28°07′—28°34′N, 以下简称“习水”)及周边4处样区进行研究(图1)。4处样区均为中山峡谷地貌区,植被类型上多为具有明显次生性多种混合植被类型、原生性的常绿阔叶林、具有明显次生性的常绿落叶阔叶混交林和原生性的常绿落叶阔叶混交林^[15],这些区域不仅植被在贵州高原山地具有一定代表性,同时由于自然保护区内植被保存完好,野猪种群密度亦较大,在实验区及周边常发生人与野猪冲突事件^[16]。

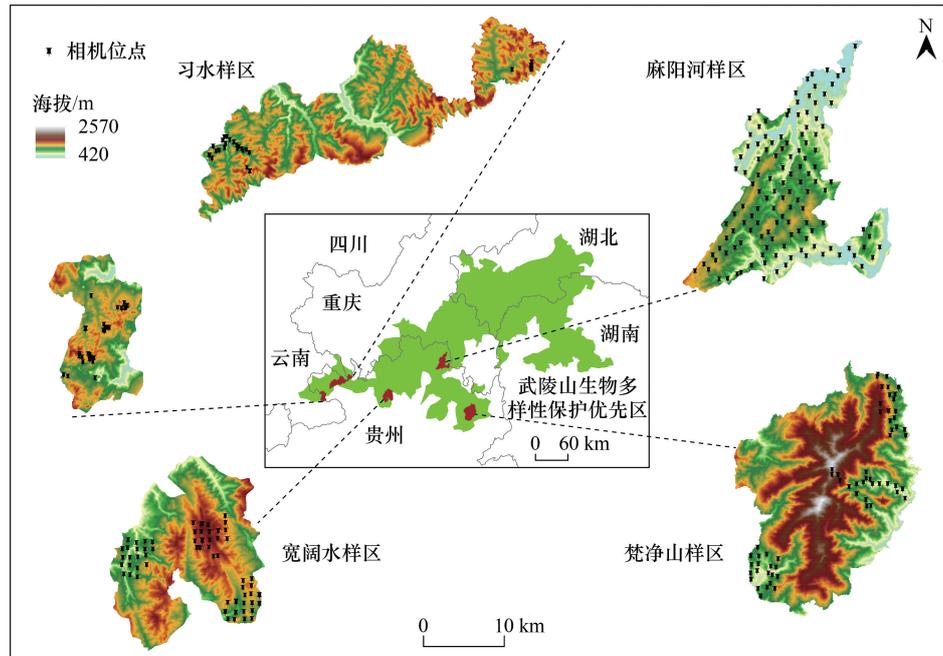


图1 贵州高原山地环境野猪红外相机监测位点图

Fig.1 Camera-trapping sites of wild boar in Guizhou plateau mountainous environment

2 研究方法

2.1 野外调查方法

利用2015年7月至2019年12月间对麻阳河(2018年8月至2020年10月)、习水(2015年7月至2017年11月)、宽阔水(2017年7月至2020年1月)和梵净山(2017年4月至2019年12月)及周边4处样区开展的长时红外相机监测数据分析野猪的生境选择。红外相机监测基于ArcMap 10.6软件将麻阳河、宽阔水和梵净山样区矢量化边界,将样区划分为1 km×1 km的公里网格,其中宽阔水样区和梵净山样区结合保护区及人为干扰等因素各选取3个样地,每个样地选择连续的20个网格作为抽样网格,麻阳河样区则以每2 km²隔行交错选取一个网格作为抽样网格。在每个网格中心点周围布设一台红外相机(猎科Lil 6210MC或东方红鹰E1B),习水样区则未按连续公里网格布设,为该保护区自行随机安装的历史监测数据。

相机实际安装过程中选择人为干扰少、生境条件良好或有野生动物活动痕迹的位置。相机参数设置:照片+视频模式、3张连拍、灵敏度中等^[17]。安装相机时,以相机安装位点为中心,设置10 m×10 m的样方,记录相机位置及样方内各项生境因子(表1),根据红外相机记录野猪活动情况判断野猪是否利用样方。

2.2 数据处理方法

采用Vanderploeg和Scavia选择指数^[19-20]以及资源选择函数(RSFS)^[21]分析野猪对各种生境因子不同等级水平或类别的选择偏好及其主要影响因素。

表 1 生境因子及描述

Table 1 Habitat factors and description

变量 Variables	变量描述与分类赋值 Description and quantification
海拔 Altitude	样方内相机安装位点所在位置的海拔高度,根据样方在海拔梯度上的变化情况,划分 5 个等级: ≤ 700 m、700—1000 m、1000—1300 m、1300—1600 m 和 > 1600 m。
坡度 Slope	记录所设样方内红外相机布安装位置的坡度,划分为 5 个等级: $\leq 15^\circ$ 、 $15^\circ-20^\circ$ 、 $20^\circ-25^\circ$ 、 $25^\circ-30^\circ$ 和 $> 30^\circ$ 。
坡向 Aspect	根据样方所在地的坡面朝向,划分为阴坡、阳坡和半阴半阳坡,并依次赋值 1、2、3,以便量化分析。
坡位 Slope location	根据样方所在山体的位置划分为 3 个等级,从下至上依次为下坡位、中坡位和上坡位,并依次赋值 1、2、3,以便量化分析。
植被类型 Vegetation types	根据样方所设地植被群落的植被型,结合贵州省植被分布情况并参照方精云等 ^[18] 的植被分类系统对植被类型划分为:常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿与落叶阔叶混交林、落叶与常绿针叶混交林、针叶与阔叶混交林和其他生境(主要为竹林、灌丛和河流旁等)6 种类型,并依次赋值 1、2、3、4、5、6 以便量化分析。
乔木平均胸径 Average DBH of trees	样方内四个方向距中心最近乔木胸径的平均值(约 1.3 m 高处的直径)。
乔木郁闭度 Tree canopy density	所设样方内四个方向植被上层林冠投影面积占样方面积的平均值。
灌木平均高 Average shrub height	样方内灌木的平均高度。
灌木盖度 Shrub coverage	样方内灌木地上部分垂直投影面积占样方面积的比值。
草本平均高 Average height of herbs	样方内草本植物的平均高度。
草本盖度 Herb coverage	样方内草地上部分垂直投影面积占样方面积的比值。
距道路距离 Distance from road	样方内红外相机安装位点距离最近道路(常用路径,公路等)的直线距离,并划分为 4 个等级: ≤ 100 m、100—400 m、400—700 m 和 > 700 m。
距居民点距离 Distance from residential area	样方内红外相机安装位点距离最近居民点的直线距离,并划分为 4 个等级: ≤ 300 m、300—600 m、600—900 m 和 > 900 m。
距农耕地距离 Distance from agricultural land	样方内红外相机安装位点距离最近农用耕地的直线距离,并划分为 4 个等级: ≤ 150 m、150—500 m、500—850 m 和 > 850 m。
距水源距离 Distance from water source	样方内红外相机安装位点距离最近水源(溪流,河流和湖泊等)的直线距离,并划分为 4 个等级: ≤ 300 m、300—900 m、900—1500 m 和 > 1500 m。

DBH: 胸径 Diameter at breast height

(1) Vanderploeg(W_i) 和 Scavia(E_i) 选择指数。

$$W_i = (r_i/p_i) / \sum (r_i/p_i)$$

$$E_i = (W_i - 1/n) / (W_i + 1/n)$$

式中, r_i 为野猪选择的具有 i 特征的样方数, p_i 为环境中具有 i 特性的样方总数, n 为某一类资源的等级水平或类别数, E_i 值介于-1 到+1 之间,若 $E_i > 0.1$ 表示喜爱, $E_i = 1$ 表示特别喜爱, $E_i = 0$ 表示随机选择, $-0.1 < E_i < 0.1$ 表示几乎随机选择, $E_i < -0.1$ 表示不喜爱, $E_i = -1$ 表示不选择。

(2) 资源选择函数(RSFS)。

对于生境中的一种资源 i ,假设物种对它的选择率为:

$$w_i = o_i/\pi_i$$

$$\pi_i = a_i/a_+$$

式中, o_i 是资源 i 中被使用的比率, a_+ 是所有可供利用的资源单位, a_i 是其中资源 i 可被利用的单位。则资源选择函数表现为一个包含多个独立生境变量的线性对数模型:

$$\omega(x) = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)$$

式中, x 代表了不同的独立生境变量, β 表示选择系数。那么物种对生境的选择概率为:

$$P = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k) / [1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)]$$

当 P 的取值为 1 或 0 时,即表示选择和 不选择,选择系数 β 由逻辑斯蒂回归系数估计^[22-23]。函数模型的预测精度使用受试者工作特征曲线(ROC)下面积 AUC 值(Area under curve)评价,AUC 取值范围为 0—1 之

间,0.5—0.7 表示预测能力一般,0.7—0.9 表示预测能力较好,0.9 以上为优秀^[24-25]。

应用逻辑斯蒂回归来拟合资源选择函数的选择系数,分析野猪生境选择的主要影响因素。要求进入逻辑斯蒂回归的变量之间不存在相关性^[22,26],因而,使用 Pearson 相关性分析样方内测量环境变量之间的相关系数,相关系数绝对值小于 0.75 视为不相关,若绝对值大于 0.75 则选取更具有生态意义的环境变量。以野猪是否利用样方为因变量,对所有参数进行标准化,采用 Forward/Conditional(以假定参数为基础作似然比概率检验,向前逐步选择自变量)法进行逻辑斯蒂回归分析。

为分析各样区内野猪利用样方与非利用样方之间各生境因子差异,采用 Mann-Whitey U 检验野猪利用样方与非利用样方之间各连续性变量的差异性;采用 Chi-Square Test 比较 2 组样方之间坡向、坡位和植被类型 3 个离散型变量不同等级水平野猪使用频次的差异。

以上所有数据分析使用 SPSS 26.0,作图使用 Origin 2020b 和 ArcMap 10.6 等软件完成。

3 结果与分析

3.1 野猪生境选择偏好及其影响因素

研究期间共布设 370 台红外相机,相机损坏、丢失和位点信息缺失的位点未纳入分析,共得到野猪利用样方 201 个(拍摄到野猪位点),非利用样方 121 个(未拍摄到野猪位点)。

Vanderploeg 和 Scavia 选择指数分析表明:野猪喜爱活动于坡度 $\leq 20^\circ$,乔木郁闭度 > 0.8 和草本盖度为 0.2—0.4 的生境,不喜爱的生境类型为海拔 > 1600 m,坡度 $> 25^\circ$,草本盖度 < 0.1 ,距道路距离 ≤ 100 m,而对其他类型的生境资源野猪则表现为几乎随机利用(表 2)。

表 2 贵州高原山地环境野猪的生境选择偏好

Table 2 Habitat selection preference of wild boar in Guizhou plateau mountainous environment

变量 Variables	类别 Category	可获得性(p_i) Expected proportion used	利用率(r_i) Proportion used	选择系数(W_i) Resource selection coefficient	选择指数(E_i) Resource selection index	选择性 Preference
海拔 Altitude	海拔 ≤ 700 m	44	29	0.220	0.049	AR
	700 m < 海拔 ≤ 1000 m	116	72	0.208	0.019	AR
	1000 m < 海拔 ≤ 1300 m	90	57	0.212	0.029	AR
	1300 m < 海拔 ≤ 1600 m	71	48	0.226	0.061	AR
	海拔 > 1600 m	10	4	0.134	-0.198	NP
坡度 Slope	坡度 $\leq 15^\circ$	69	64	0.282	0.169	P
	$15^\circ < \text{坡度} \leq 20^\circ$	55	51	0.281	0.169	P
	$20^\circ < \text{坡度} \leq 25^\circ$	69	45	0.198	-0.005	AR
	$25^\circ < \text{坡度} \leq 30^\circ$	53	28	0.160	-0.110	NP
	坡度 $> 30^\circ$	85	22	0.079	-0.436	NP
坡向 Slope location	阴坡	122	79	0.338	0.007	AR
	阳坡	139	85	0.319	-0.022	AR
	半阴半阳坡	70	46	0.343	0.014	AR
坡位 Aspect	下坡位	74	42	0.299	-0.055	AR
	中坡位	169	106	0.330	-0.005	AR
	上坡位	88	62	0.371	0.053	AR
植被类型 Vegetation types	常绿阔叶林	38	23	0.153	-0.043	AR
	落叶阔叶林	34	23	0.171	0.013	AR
	常绿与落叶阔叶混交林	122	66	0.137	-0.099	AR
	落叶与常绿针叶混交林	51	37	0.183	0.048	AR
	针叶与阔叶混交林	63	45	0.180	0.040	AR

续表

变量 Variables	类别 Category	可获得性(p_i) Expected proportion used	利用率(r_i) Proportion used	选择系数(W_i) Resource selection coefficient	选择指数(E_i) Resource selection index	选择性 Preference
	其他生境	23	16	0.176	0.027	AR
乔木郁闭度 Tree canopy density	郁闭度 ≤ 0.4	58	35	0.227	-0.047	AR
	0.4<郁闭度 ≤ 0.6	113	75	0.250	0.000	AR
	0.6<郁闭度 ≤ 0.8	110	60	0.206	-0.097	AR
	郁闭度 > 0.8	50	42	0.317	0.118	P
乔木平均胸径 Average DBH of trees	平均胸径 ≤ 10 cm	93	60	0.234	-0.034	AR
	10 cm<平均胸径 ≤ 15 cm	82	62	0.274	0.045	AR
	15 cm<平均胸径 ≤ 20 cm	100	79	0.286	0.067	AR
	平均胸径 > 20 cm	56	32	0.207	-0.094	AR
灌木平均高 Average shrub height	平均高 ≤ 1 m	21	11	0.216	-0.072	AR
	1 m<平均高 ≤ 2 m	86	45	0.216	-0.073	AR
	2 m<平均高 ≤ 3 m	111	76	0.283	0.061	AR
	3 m<平均高 ≤ 3.5 m	113	78	0.285	0.065	AR
灌木盖度 Shrub coverage	盖度 ≤ 0.2	79	47	0.234	-0.033	AR
	0.2<盖度 ≤ 0.4	102	64	0.247	-0.007	AR
	0.4<盖度 ≤ 0.6	91	60	0.259	0.018	AR
	盖度 > 0.6	59	39	0.260	0.020	AR
草本平均高 Average height of herbs	平均高 ≤ 0.1 m	89	59	0.259	0.017	AR
	0.1 m<平均高 ≤ 0.2 m	67	41	0.239	-0.023	AR
	0.2 m<平均高 ≤ 0.3 m	71	51	0.281	0.058	AR
	0.3 m<平均高 ≤ 1.5 m	104	59	0.222	-0.060	AR
草本盖度 Herb coverage	盖度 ≤ 0.1	94	33	0.140	-0.281	NP
	0.1<盖度 ≤ 0.2	67	40	0.238	-0.024	AR
	0.2<盖度 ≤ 0.4	99	84	0.339	0.151	P
	盖度 > 0.4	75	53	0.282	0.061	AR
距水源距离 Distance from road	距离 ≤ 300 m	146	92	0.248	-0.004	AR
	300 m<距离 ≤ 900 m	89	56	0.248	-0.004	AR
	900 m<距离 ≤ 1500 m	43	25	0.229	-0.044	AR
	距离 > 1500 m	53	37	0.275	0.048	AR
距道路距离 Distance from residential area	距离 ≤ 100 m	178	99	0.204	-0.102	NP
	100 m<距离 ≤ 400 m	75	54	0.264	0.027	AR
	400 m<距离 ≤ 700 m	31	22	0.260	0.019	AR
	距离 > 700 m	47	35	0.273	0.043	AR
距居民点距离 Distance from agricultural land	距离 ≤ 300 m	104	62	0.228	-0.045	AR
	300 m<距离 ≤ 600 m	92	68	0.283	0.062	AR
	600 m<距离 ≤ 900 m	33	24	0.278	0.054	AR
	距离 > 900 m	102	56	0.210	-0.086	AR
距农耕地距离 Distance from water source	距离 ≤ 150 m	116	78	0.260	0.019	AR
	150 m<距离 ≤ 500 m	92	58	0.243	-0.014	AR
	500 m<距离 ≤ 850 m	29	21	0.280	0.056	AR
	距离 > 850 m	94	53	0.218	-0.069	AR

P 表示喜爱;NP 表示不喜爱;AR 表示几乎随机选择

经分析所有环境变量之间相关系数绝对值均小于 0.75,所有变量均可进入逻辑斯蒂回归分析。结果表明:海拔、坡度、乔木郁闭度、灌木平均高、草本盖度、距道路距离和距居民点距离对野猪生境选择影响具有显

著统计学意义(表 3)。得到野猪生境选择的资源选择函数为:

$$\text{Logit}(P) = 3.226 - \text{海拔} \times 0.002 - \text{坡度} \times 0.161 + \text{乔木郁闭度} \times 2.078 + \text{灌木平均高} \times 0.401 + \text{草本盖度} \times 3.566 + \text{距道路距离} \times 0.001 + \text{居民点距离} \times 0.0003$$

根据拟合的资源选择函数,可知野猪对生境的选择概率为 $P = e^{\text{logit}(p)} / (1 + e^{\text{logit}(p)})$,模型的正确率为 80.7%,说明模型能较好的拟合野猪的生境选择。

表 3 进入野猪生境选择逻辑斯蒂回归模型的变量

Table 3 Variables in logistic regression model of wild boar habitat selection

变量 Variable	回归系数 Regression coefficient	标准误 Standard Error of Mean	Wald 卡方检验 Wald Chi-Square	P
海拔 Altitude	-0.002	0.001	10.715	0.001
坡度 Slope	-0.161	0.021	59.69	0.000
乔木郁闭度 Tree canopy density	2.078	0.728	8.151	0.004
灌木平均高 Average shrub height	0.401	0.179	5.006	0.025
草本盖度 Herb coverage	3.566	0.826	18.641	0.000
距道路距离 Distance from road	0.001	0.000	5.162	0.023
距居民点距离 Distance from residential area	0.0003	0.000	6.716	0.010
常量 Constant	3.226	0.903	12.752	0.000

* 表示差异显著($P < 0.05$); ** 表示差异极显著($P < 0.01$)

将野猪的出现与否的资源选择函数预测值作为检验变量,实际出现与否为状态变量,绘制 ROC (Receiver operating characteristic curve) 曲线,曲线下面积为模型的预测精度。经计算资源选择函数的预测精度为 $\text{AUC} = 0.878$,根据 AUC 值的判断标准,预测能力达到了“较好”水平(图 2)。

3.2 不同样区野猪利用生境与非利用生境比较

研究期间麻阳河样区获得利用样方 93 个,非利用样方 43 个;习水利用样方 31 个,非利用样方 50 个;梵净山利用样方 48 个,非利用样方 12 个;宽阔水利用样方 38 个,非利用方 16 个。

不同样区野猪利用样方与非利用样方之间各连续型生境因子比较结果如表 4,与非利用样方相比,梵净山野猪利用样方灌木盖度更低;宽阔水野猪利用样方坡度和草本平均高更低,草本盖度更高;麻阳河野猪利用样方的灌木平均高和草本盖度更高,坡度更低;习水野猪利用样方的海拔、灌木盖度、草本盖度、距水源距离、距道路距离显著高于非利用样方,但坡度更低。

不同样区野猪利用样方与非利用样方之间各离散型生境因子比较结果如表 5,麻阳河野猪利用与非利用样方之间植被类型存在显著差异,选择落叶与常绿针叶混交林和针叶与阔叶混交林比例较高;习水野猪利用与非利用样方之间坡位存在显著差异,选择生境更靠近中上坡位。

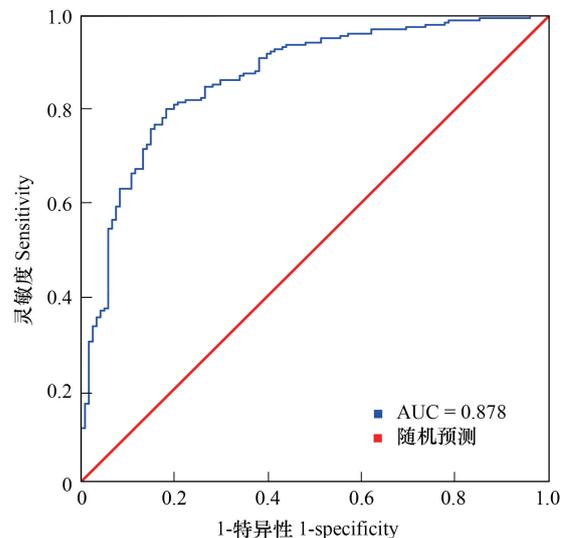


图 2 ROC 曲线诊断结果

Fig.2 ROC curve diagnosis results

ROC: 受试者工作特征曲线 Receiver operating characteristic curve; 与坐标轴围成的面积大小为 AUC (Area under curve) 值表示模型的预测精度,曲线为对角线表示模型没有预测能力 (50% 的面积),曲线位于对角线上方表示该模型具有预测能力 (超过 50% 的面积)

表 4 不同样区野猪利用样方与非利用样方连续型变量比较
 Table 4 Comparison of continuous variables between wild boar used and random plots in different areas

变量 Variables	样区 Sampling area	平均值±标准误 Mean±SE		Mann-whitney <i>U</i> 检验 Mann-Whitney <i>U</i> test	
		非利用样方 Random plots	利用样方 Used plots	<i>U</i>	<i>P</i>
海拔 Altitude	梵净山	1253.00±146	1023.58±39.56	-1.146	0.252
	宽阔水	1155.5±62.12	1242.53±39.99	-1.137	0.256
	麻阳河	879.14±44.95	854.61±24.41	-0.22	0.826
	习水	1155.3±37.86	1429.06±19.13	-4.679	0.000
坡度 Slope	梵净山	27.11±2.23	23.64±1.24	-1.395	0.163
	宽阔水	28.76±1.89	20.94±1.57	-2.861	0.004
	麻阳河	30.87±1.24	17.96±0.72	-7.097	0.000
	习水	32.15±1.37	17.49±1.16	-6.244	0.000
乔木郁闭度 Tree canopy density	梵净山	0.73±0.05	0.76±0.03	-1.799	0.072
	宽阔水	0.48±0.05	0.58±0.03	-1.524	0.127
	麻阳河	0.52±0.03	0.57±0.02	-0.848	0.396
	习水	0.64±0.01	0.62±0.02	-0.794	0.427
乔木平均胸径/cm Average DBH of trees	梵净山	19.00±2.09	17.34±0.94	-0.222	0.824
	宽阔水	12.27±1.65	13.46±1.05	-1.085	0.278
	麻阳河	12.07±0.98	12.92±0.63	-0.706	0.480
	习水	16.99±0.83	14.16±1.19	-1.902	0.057
灌木平均高 Average shrub height	梵净山	2.42±0.19	2.80±0.10	-1.829	0.067
	宽阔水	3.12±0.19	2.94±0.10	-1.302	0.193
	麻阳河	2.17±0.13	2.43±0.10	-2.013	0.044
	习水	2.24±0.15	2.43±0.13	-0.459	0.646
灌木盖度 Shrub coverage	梵净山	0.62±0.08	0.40±0.03	-2.472	0.013
	宽阔水	0.37±0.07	0.44±0.05	-0.608	0.543
	麻阳河	0.38±0.03	0.41±0.02	-0.822	0.411
	习水	0.36±0.03	0.49±0.04	-2.307	0.021
草本平均高 Average height of herbs	梵净山	0.33±0.08	0.27±0.04	-0.583	0.560
	宽阔水	0.33±0.07	0.27±0.02	-2.452	0.014
	麻阳河	0.25±0.02	0.27±0.02	-0.442	0.658
	习水	0.34±0.06	0.29±0.04	-0.01	0.992
草本盖度 Herb coverage	梵净山	0.22±0.08	0.25±0.03	-1.695	0.090
	宽阔水	0.16±0.04	0.31±0.03	-3.192	0.001
	麻阳河	0.20±0.02	0.34±0.02	-4.657	0.000
	习水	0.19±0.04	0.34±0.03	-3.547	0.000
距水源距离 Distance from road	梵净山	700.00±177	679.00±86.69	-0.111	0.912
	宽阔水	413.31±136.68	372.55±49.49	-1.061	0.289
	麻阳河	1468.05±341.25	1780.30±252.47	-0.33	0.741
	习水	699.16±80.34	950.52±60.02	-2.679	0.007
距道路距离 Distance from residential area	梵净山	517.83±166.66	468.17±86.69	-0.333	0.739
	宽阔水	171.58±35.71	180.92±29.48	-0.152	0.880
	麻阳河	140.35±41.00	139.25±33.87	-0.524	0.601
	习水	389.08±54.78	1017.68±88.91	-5.241	0.000
居民点距离 Distance from agricultural land	梵净山	647.08±177.33	859.67±88.35	-1.497	0.134
	宽阔水	417.79±103.74	577.43±171.94	-0.095	0.925
	麻阳河	615.53±77.40	598.65±76.77	-0.862	0.389
	习水	3832.18±509.56	1175.81±151.67	-1.541	0.123
农耕地距离 Distance from water source	梵净山	1268.25±402.25	928.13±108.06	-0.074	0.941
	宽阔水	268.54±6.67	353.04±72.77	-0.521	0.602
	麻阳河	288.49±44.92	287.90±38.90	-0.36	0.719
	习水	1380.42±148.75	869.94±78.37	-1.434	0.152

表 5 不同样区野猪利用样方非利用样方离散型变量比较

Table 5 Comparison of discrete variables of wild boar used and random plots in different area

变量 Variables	样区 Sampling area	类别 Category	非利用样方 Random plots		利用样方 Used plots		卡方检验 Chi-square test
			频次	比例	频次	比例	
			Frequency	Percentage/%	Frequency	Percentage/%	
坡向 Slope location	梵净山	阴坡	3	25	20	41.67	$\chi^2=1.423, df=2, P=0.486$
		阳坡	6	50	16	33.33	
		半阴半阳坡	3	25	12	25	
	宽阔水	阴坡	6	37.5	16	42.11	$\chi^2=4.446, df=2, P=0.102$
		阳坡	8	50	9	23.68	
		半阴半阳坡	2	12.5	13	34.21	
	麻阳河	阴坡	13	30.23	30	32.26	$\chi^2=0.277, df=2, P=0.871$
		阳坡	21	48.84	47	50.54	
		半阴半阳坡	9	20.93	16	17.2	
习水	阴坡	21	42	13	41.94	$\chi^2=0.230, df=2, P=0.891$	
	阳坡	19	38	13	41.94		
	半阴半阳坡	10	20	5	16.13		
坡位 Aspect	梵净山	下坡位	5	41.67	12	25	$\chi^2=1.780, df=2, P=0.541$
		中坡位	5	41.67	30	62.5	
		上坡位	2	16.67	6	12.5	
	宽阔水	下坡位	2	12.5	10	26.32	$\chi^2=3.482, df=2, P=0.163$
		中坡位	12	75	18	47.37	
		上坡位	2	12.5	10	26.32	
	麻阳河	下坡位	6	13.95	17	18.28	$\chi^2=1.092, df=2, P=0.598$
		中坡位	20	46.51	47	50.54	
		上坡位	17	39.53	29	31.18	
	习水	下坡位	19	38	3	9.68	$\chi^2=20.959, df=2, P=0.000$
		中坡位	26	52	11	35.48	
		上坡位	5	10	17	54.84	
植被类型 Vegetation types	梵净山	常绿阔叶林	3	25	4	8.33	$\chi^2=5.387, df=5, P=0.371$
		落叶阔叶林	2	16.67	6	12.5	
		常绿与落叶阔叶混交林	3	25	24	50	
		落叶与常绿针叶混交林	0	0	2	4.17	
		针叶与阔叶混交林	3	25	6	12.5	
		其他生境	1	8.33	6	12.5	
		宽阔水	常绿阔叶林	2	12.5	6	
	落叶阔叶林	3	18.75	5	13.16		
	常绿与落叶阔叶混交林	5	31.25	11	28.95		
	落叶与常绿针叶混交林	0	0	4	10.53		
	针叶与阔叶混交林	3	18.75	8	21.05		
	其他生境	3	18.75	4	10.53		
	麻阳河	常绿阔叶林	10	23.26	13	13.98	$\chi^2=46.719, df=5, P=0.000$
		落叶阔叶林	4	9.3	12	12.9	
		常绿与落叶阔叶混交林	14	32.56	0	0	
		落叶与常绿针叶混交林	0	0	31	33.33	
		针叶与阔叶混交林	12	27.91	31	33.33	
		其他生境	3	6.98	6	6.45	
		习水	常绿阔叶林	0	0	0	
	落叶阔叶林		2	4	0	0	
	常绿与落叶阔叶混交林		48	96	31	100	
	落叶与常绿针叶混交林		0	0	0	0	
	针叶与阔叶混交林		0	0	0	0	
	其他生境		0	0	0	0	

4 讨论

动物的生境选择常常受到生态系统中各种生态因子的综合影响,但由于高等动物都具有可移动性的特征,因而总是倾向于选择最合适的生境来调整自身与环境之间的关系,使自己处于最佳状态^[4]。Vanderploeg 和 Scavia 选择指数分析结果表明,野猪喜爱选择坡度较小、草本盖度适中和乔木郁闭度大的生境觅食,这类生境可为野猪的林下觅食活动提供足够的隐蔽条件和食物资源,同时有利于野猪的奔跑和行走^[27]。野猪会避免选择坡度较大、草本盖度极低的生境。由于野猪个体较大,在面对捕食者或人类威胁时,所采取的反捕食行为主要是逃避而不是躲藏^[28],因而坡度过大会限制野猪的逃跑能力,而低草本盖度的生境使得草本植物提供的根、茎、叶等食物量较低。此外,野猪还会避免选择距道路较近的生境,主要是为了规避人为活动带来的影响^[29]。贵州山地野猪对于其他生境因子均表现为几乎随机利用,说明野猪可以随机利用各类生境资源,而很少有生境因子成为野猪觅食地选择的限制因子,这反映了野猪可以灵活调整自身的行为以适应绝大多数生境^[30-31]。

贵州高原山区野猪的生境选择受到海拔和坡度两个地形因子的负面影响。海拔能够影响地带性植被的垂直变化,进而影响生境为动物提供的食物资源、捕食风险压力以及环境气温。由于食物资源的季节性变化,野猪在不同海拔梯度之间存在季节性迁移^[32],如程晓福等研究发现春季野猪更加倾向于选择海拔相对较低的地区活动^[33]。此外,由于贵州高原山区不同的海拔对地区人口密度差异悬殊,低海拔的丘陵地带多为人口集中分布地,但该部分区域气候适宜,森林与农田交错的复合生态系统往往能够为野猪提供更加丰度的食物资源,因而常常成为人与野猪冲突的高发区域^[16]。坡度因子对野猪的影响主要表现为限制野猪的活动能力,选择坡度平缓的下坡位生境有利于觅食时减少能量的消耗和维持体力,并且有利于对捕食者和人类带来的威胁快速作出反应^[9,11]。

乔木郁闭度、灌木平均高和草本盖度等因子在很大程度上决定了野猪生境的隐蔽性和食物资源丰富度,与野猪选择生境的概率呈显著正相关,表明食物丰富度和隐蔽条件是影响野猪生境选择的重要因子^[34]。野猪虽为杂食性动物,但仍以植食性为主^[35],如研究区内以山毛榉、山茶科、樟科、以及木兰科等优势植物为主的常绿与落叶阔叶混交林和针叶与阔叶混交林可为野猪提供更适宜的环境气温、隐蔽条件和丰富的木本植物果实。而林下高草本覆盖度的生境亦能够为野猪提供如苔草、葛根等植物的叶、块茎和根茎等食物,同时蚯蚓、蜗牛这类无脊椎动物丰富度也相对较高,因而野猪的选择比例通常较大^[36]。

贵州高原山地由于缺乏捕食野猪的大型食肉动物,因而野猪最大的威胁是人类,周边居民住房和道路成为限制野猪活动主要的人为干扰因素。道路以许多直接或间接的方式影响动物,可能会抑制动物的季节性迁移,并可能因躲避而导致栖息地的有效丧失,而动物穿越道路亦可能增加交通致死的可能性^[37]。如由于高车流量道路的影响,野猪会对其觅食行为做出调整,以避免直接接触车辆的风险^[38]。并且由于当地居民在很大程度上依赖于森林产品资源,通过红外相机监测技术发现,采菌、狩猎和偷猎等人为活动会对野猪活动产生极大的影响。如在人为干扰较大的区域,野猪通常会通过夜间活动以避开人类或人类活动的区域^[39],并且会随着距人为干扰距离的减小夜间活动时常会不断增加^[40]。此外,当地养殖家禽、家畜动物活动常常会占用野猪选择利用的部分生态位,也可能对野猪原本喜爱的生境变为随机利用^[41]。

生境在不同空间上存在很大的异质性,不同样区在地形地貌、植被类型和人为干扰等方面存在较大差异^[42]。梵净山样区主要为原生性的常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林和落叶阔叶林植被,植物资源比较丰富,为野猪和其他有蹄类提供了丰富的食物来源。高郁闭度的森林生境可为野猪提供隐蔽条件,加之缺乏天敌和人为干扰较小,野猪对灌木盖度的选择性不强^[43]。宽阔水样区内植被覆盖率高,原生性强,植物多样性较丰富,以菊科、蔷薇科和禾本科等优势草本植物均可为野猪提供丰富的食物资源。但由于周边毁林开荒、砍伐林木、农业耕作、烟叶种植和烘烤、养殖放牧等人为活动对区内野生动物产生了严重的影响^[44],野猪选择坡度较小和草本盖度较高的生境,使自身保证食物充足面对人类威胁又能快速逃跑。习水样区由于特殊的丹

霞地貌,超深切割和剧烈的崩塌地貌形态,地势自南向北迅速降低,具有地形崎岖、高差悬殊的特点,使得野猪的生境选择在很大程度上受到地形因素(海拔、坡度和坡位)的影响,同时,区内偷猎、盗猎和乱捕滥猎等人为干扰可能威胁到了野猪的生存,选择距离道路较远的区域能够减少来自人类活动的干扰。麻阳河样区野猪选择的生境更加倾向于落叶与常绿针叶混交林和针叶与阔叶混交林,分布的主要植物有栓皮栎、木荷、青冈栎、橡子等坚果类植物,可为野猪提供丰富的食物资源。采伐、放牧、火烧、狩猎和采药是区内主要的人为活动,选择灌木高度较高和坡度较小的生境,有利于野猪的活动和逃跑。

贵州高原山地环境中野猪主要受到地形、隐蔽和食物因素的共同影响,喜选择坡度较缓、郁闭度高和草本植物丰富的生境,回避坡度较陡、草本丰富度较低和距人为干扰较近的生境。不同样区内野猪利用生境与非利用生境主要还受样区内地形地貌、植被类型和人为干扰等因素影响。本文分析了野猪生境选择的内在特征,掌握了野猪的生境选择规律,为更深入地了解野猪行为生态规律,促进野猪种群的有效管理和科学保护提供有益借鉴。

参考文献(References):

- [1] Krausman P R. Some basic principles of habitat use. 1999.
- [2] DeCesare N J, Hebblewhite M, Bradley M, Hervieux D, Neufeld L, Musiani M. Linking habitat selection and predation risk to spatial variation in survival. *Journal of Animal Ecology*, 2014, 83(2): 343-352.
- [3] Duchesne D, Gauthier G, Berteaux D. Habitat selection, reproduction and predation of wintering lemmings in the Arctic. *Oecologia*, 2011, 167(4): 967-980.
- [4] 颜忠诚,陈永林. 动物的生境选择. *生态学杂志*, 1998, 17(2): 43-49.
- [5] 尚玉昌. 行为生态学. 北京: 北京大学出版社, 1998.
- [6] 王应祥. 中国哺乳动物种和亚种分类名录与分布大全. 北京: 中国林业出版社, 2003.
- [7] 何馨成,吴兆录. 我国野生动物肇事现状及其管理研究进展. *四川动物*, 2010, 29(1): 141-143.
- [8] 李乐,刘鹤,万冬梅,马强,张树清,刘志利. 辽宁老秃顶子保护区野猪冬季觅食地生境选择. *生态学杂志*, 2010, 29(12): 2408-2413.
- [9] 徐飞,蔡体久,琚存勇,赵玉龙. 黑龙江凤凰山自然保护区野猪秋季生境选择. *北京林业大学学报*, 2011, 33(3): 86-91.
- [10] 龙章巍,王岩,徐才溢,张晓东,兰家宇,朴敏娟,吴景才,朱洪强. 影响东北地区野猪(*Sus scrofa*)生境选择的主要生态因子. *经济动物学报*, 2017, 21(2): 122-124.
- [11] 滕丽微,刘振生,宋延龄,曾治高. 海南大田自然保护区野猪的生境选择. *动物学杂志*, 2007, 42(1): 1-7.
- [12] Di Bitetti M S. Camera traps in animal ecology: methods and analyses. *Mastozoología Neotropical*, 2011, 18(1): 161-163.
- [13] 侯仁之. 贵州省地理. 贵阳: 贵州人民出版社, 1984.
- [14] 黄威廉,屠玉麟. 贵州植被区划. *贵州师范大学学报: 自然科学版*, 1983, 1(1): 26-47.
- [15] 黄威廉. 贵州植被. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988.
- [16] 粟海军,胡灿实,张明明,梁盛. 贵州赤水桫欏国家级自然保护区野猪危害特征与居民态度分析. *兽类学报*, 2018, 38(4): 359-368.
- [17] 肖治术,李欣海,王学志,周岐海,权锐昌,申小莉,李晟. 探讨我国森林野生动物红外相机监测规范. *生物多样性*, 2014, 22(6): 704-711.
- [18] 方精云,郭柯,王国宏,唐志尧,谢宗强,沈泽昊,王仁卿,强胜,梁存柱,达良俊,于丹. 《中国植被志》的植被分类系统、植被类型划分及编排体系. *植物生态学报*, 2020, 44(2): 96-110.
- [19] Vanderploeg H A, Scavia D. Calculation and use of selectivity coefficients of feeding: Zooplankton grazing. *Ecological Modelling*, 1979, 7(2): 135-149.
- [20] Vanderploeg H A, Scavia D. Two electivity indices for feeding with special reference to zooplankton grazing. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1979, 36(4): 362-365.
- [21] 李欣海,马志军,李典谟,丁长青,翟天庆,路宝忠. 应用资源选择函数研究朱鹮的巢址选择. *生物多样性*, 2001, 9(4): 352-358.
- [22] Boyce M S, McDonald L L. Relating populations to habitats using resource selection functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 1999, 14(7): 268-272.
- [23] Homser D W, Lemeshow S. *Applied logistic Regression*. New York: John Wiley and Son. 1989, 44(1): 81-82.
- [24] Chen P F, Wiley E O, Mcnysset K M. Ecological niche modeling as a predictive tool: silverand bighead carps in North America. *Biological Invasions*, 2007, 9(1): 43-51.

- [25] 张晓晨, 徐文轩, 汪沐阳, 杨维康. 马可波罗盘羊夏季采食地选择. 动物学杂志, 2019, 54(5): 617-626.
- [26] Lennon J J. Resource selection functions: taking space seriously? Trends in Ecology & Evolution, 1999, 14(10): 399-400.
- [27] Panebianco A, Bó R F, Gregorio P F, Vila A. Macro and microhabitat patterns of habitat use and selection by wild boar in los alerces National Park. Mastozoología Neotropical, 2019, 26(1): 1-26.
- [28] 鲁庆彬, 于江傲, 高欣, 杨仙玉, 周圻, 张良斌, 章叔岩. 冬季清凉峰山区小麝和野猪的生境选择及差异. 兽类学报, 2007, 27(1): 45-42.
- [29] Theuerkauf J, Rouys S. Habitat selection by ungulates in relation to predation risk by wolves and humans in the Białowieża Forest, Poland. Forest Ecology and Management, 2008, 256(6): 1325-1332.
- [30] Podgórski T, Baś G, Jędrzejewska B, Sönnichsen L, Śniezko S, Jędrzejewski W, Okarma H. Spatiotemporal behavioral plasticity of wild boar (*Sus scrofa*) under contrasting conditions of human pressure: primeval forest and metropolitan area. Journal of Mammalogy, 2013, 94(1): 109-119.
- [31] Stillfried M, Gras P, Börner K, Göritz F, Painer J, Röllig K, Wenzler M, Hofer H, Ortman S, Kramer-Schadt S. Secrets of success in a landscape of fear: urban wild boar adjust risk perception and tolerate disturbance. Frontiers in Ecology and Evolution, 2017, 5: 157.
- [32] 张静. 小兴安岭南坡野猪栖息地选择及对农田的危害研究. 东北林业大学, 2008.
- [33] 程晓福, 殷小慧, 夏国成, 余阳春, 侯小玲. 六盘山国家级自然保护区野猪春季生境选择特征. 经济动物学报, 2013, 17(4): 197-202.
- [34] 周学义, 尹杭, 孟凡露, 刘洋, 孟秀祥. 美姑大风顶自然保护区野猪冬季功能性生境特征. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2014, 42(7): 21-28.
- [35] Ballari S A, Barrios-García M N. A review of wild boar *Sus scrofa* diet and factors affecting food selection in native and introduced ranges. Mammal Review, 2014, 44(2): 124-134.
- [36] Bobek B, Merta D, Furtek J. Winter food and cover refuges of large ungulates in lowland forests of south-western Poland. Forest Ecology and Management, 2016, 359: 247-255.
- [37] Meisingset E L, Loe L E, Brekkum Ø, van Moorter B, Mysterud A. Red deer habitat selection and movements in relation to roads. The Journal of Wildlife Management, 2013, 77(1): 181-191.
- [38] Thurjell H, Spong G, Olsson M, Ericsson G. Avoidance of high traffic levels results in lower risk of wild boar-vehicle accidents. Landscape and Urban Planning, 2015, 133: 98-104.
- [39] Ikeda T, Kuninaga N, Suzuki T, Ikushima S, Suzuki M. Tourist-wild boar (*Sus scrofa*) interactions in urban wildlife management. Global Ecology and Conservation, 2019, 18: e00617.
- [40] van Doormaal N, Ohashi H, Koike S, Kaji K. Influence of human activities on the activity patterns of Japanese sika deer (*Cervus nippon*) and wild boar (*Sus scrofa*) in Central Japan. European Journal of Wildlife Research, 2015, 61(4): 517-527.
- [41] 冉江洪, 刘少英, 王鸿加, 孙治宇, 曾宗永, 刘世昌. 小相岭大熊猫与放牧家畜的生境选择. 生态学报, 2003, 23(11): 2253-2259.
- [42] Rather T A, Kumar S, Khan J A. Multi-scale habitat selection and impacts of climate change on the distribution of four sympatric meso-carnivores using random forest algorithm. Ecological Processes, 2020, 9(1): 60.
- [43] 万雅琼, 李佳琦, 徐海根, 李晟, 张明明, 刘伟. 贵州梵净山和赤水桫椤国家级自然保护区4种大中型兽类空间占域研究. 生态与农村环境学报, 2021, 37(12): 1609-1615.
- [44] 喻理飞, 陈光平, 余登利. 贵州宽阔水国家级自然保护区生物多样性保护研究. 北京: 中国林业出版社, 2018.