•研究报告•

小兴安岭铁力林业局冬季西伯利亚狍 (*Capreolus pygargus*)的生境选择

陈 龙^{1,2} 李月辉^{1*} 胡远满¹ 熊在平¹ 吴 文^{1,2} 李 悦³ 问青春⁴¹ (中国科学院沈阳应用生态研究所, 中国科学院森林生态与管理重点实验室, 沈阳 110016)² (中国科学院大学, 北京 100049)³ (辽宁大学环境学院, 沈阳 110036)⁴ (辽宁省环境监测中心, 沈阳 110161)

摘要: 为了揭示西伯利亚狍(*Capreolus pygargus*)的生境选择倾向, 本文在小兴安岭铁力林业局布设22条样线, 每条样线长1.5 km左右, 于2014年11月、2015年1月和12月沿着样线共设置西伯利亚狍的利用样方105个和对照样方68个, 记录样方内15个生境因子特征。利用Bailey's法判断西伯利亚狍对各生境因子的选择倾向, 使用资源选择函数分析西伯利亚狍对生境因子的综合选择。结果表明, 西伯利亚狍倾向选择的地形特征分别为海拔 ≤ 300 m或 ≥ 450 m、上坡位或坡度 $> 4^\circ$; 倾向选择的植被特征分别为农田或针叶林、林龄 ≤ 25 yr、郁闭度 ≥ 0.6 、乔木数量 ≤ 15 棵、乔木平均高 < 15 m、乔木平均胸径 ≤ 10 cm、灌木盖度 ≤ 0.3 或草本盖度 > 0.2 ; 倾向选择的食物特征为食物多; 倾向选择的安全特征分别为能见度 > 50 m或雪深 ≤ 10 cm。影响西伯利亚狍生境综合选择的主要因子为坡向、坡度、植被类型、郁闭度、乔木数量、乔木平均高和能见度。铁力林业局西伯利亚狍喜欢农田、喜欢易于感知威胁并能够迅速逃跑的相对开阔的生境; 地形特征、植被特征和安全特征是影响综合选择的主要生境特征。本研究提示, 构建适宜农田林地空间配置的景观格局将成为景观尺度保护西伯利亚狍种群的途径。

关键词: 西伯利亚狍; 小兴安岭; 森林景观; 生境选择; 资源选择函数; 能见度

Habitat selection by roe deer (*Capreolus pygargus*) over winter in the Tieli Forestry Bureau of the Lesser Xing'an Mountains

Long Chen^{1,2}, Yuehui Li^{1*}, Yuanman Hu¹, Zaiping Xiong¹, Wen Wu^{1,2}, Yue Li³, Qingchun Wen⁴¹ Key Laboratory of Forest Ecology and Management, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016² University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049³ College of Environmental Sciences, Liaoning University, Shenyang 110036⁴ Environmental Monitoring Experiment Center of Liaoning Province, Shenyang 110161

Abstract: Habitat selection by roe deer (*Capreolus pygargus*) was explored by using line-transect sampling in the Tieli Forestry Bureau of the Lesser Xing'an Mountains. A total of 22 line-transects, each of which was about 1.5 km long, were installed. Fifteen habitat factors were measured in 105 plots used by roe deer and 68 control plots, respectively, in November 2014, January and December 2015. Based on Bailey's method analyzing the selectivity of roe deer using habitat factors, the result showed that in terms of topographic factors, roe deer preferred the habitats with altitude ≤ 300 m or ≥ 450 m, gradient $> 4^\circ$ or upper slope position; in terms of vegetation factors, roe deer preferred the farmland or coniferous forest, tree age ≤ 25 yr, canopy closure ≥ 0.6 , number of trees ≤ 15 , average tree height < 15 m, average DBH ≤ 10 cm, shrub coverage ≤ 0.3 or herbage coverage > 0.2 ; in terms of food factors, roe deer preferred much food abundance; and in terms of safety factors, roe deer preferred visibility > 50 m or snow depth ≤ 10 cm. The resource selection function revealed that the dominant factors influencing habitat selection by roe deer were aspect of slope, gradient, vegetation type, canopy closure, number of trees, average tree height and visibility. The roe deer in the Tieli For-

收稿日期: 2016-09-02; 接受日期: 2017-04-11

基金项目: 国家自然科学基金(41271201, 41371198)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: liyh@iae.ac.cn

estry Bureau preferred agriculture land and open habitat where they can quickly perceive danger and escape from other animals or humans. Those factors involving topography, vegetation, security predominantly determined their habitat selection. This research suggested protecting the roe deer population by constructing an optimal forest landscape pattern mixed with agriculture lands of a certain area percentage and spatial arrangement.

Key words: roe deer (*Capreolus pygargus*); Lesser Xing'an Mountains; forest landscape; habitat selection; resource selection function; visibility

野生动物生境选择研究是评估动物栖息地质量、预测适宜栖息地的分布和负载量、评价种群特征及保护利用动物资源的重要基础和前提。狍属(*Capreolus*)动物是森林生态系统食物链的重要组成部分,其生境选择会影响植被和其他动物的种群特征,一直受到广泛关注(Mysterud et al, 1997; Linnell et al, 2004; Heinze et al, 2011; 葛志勇等, 2012)。

研究狍的生境选择常利用项圈定位技术跟踪其所在的位置,进而揭示所处位置的生境特征(Morellet et al, 2011; Ewald et al, 2014)。在种群密度低、个体难以或不允许被捕获时,也使用痕迹调查法,即统计分析狍的卧迹、粪便、脚印、采食等痕迹所处位置的生境特征(Mysterud et al, 1997; Heinze et al, 2011)。利用这两类方法,学者们揭示了狍对生境因子的选择倾向,如在选择地形时,一般选择坡度平缓、位于阳坡的生境(葛志勇等, 2012);选择觅食地时,喜爱食物丰富并易于取食的生境(Hemami et al, 2004);选择植被时,倾向高郁闭度的(Ewald et al, 2014)或成熟的林分(Borkowski & Ukalska, 2008),喜欢针阔混交林和阔叶林(周绍春等, 2010)等。学者们还揭示了狍对生境的综合选择倾向,如周绍春等(2010)研究揭示完达山狍生境选择受坡位、食物丰富度和干扰距离等生境因子的综合影响。朱洪强等(2013)研究表明食物丰富度、针叶树、雪深、裸岩和海拔是影响黄泥河自然保护区冬季狍卧息地选择的主导因子。

上述案例揭示了狍的生境选择特征,丰富了狍的行为生态学知识,有助于狍种群资源及其生境的保护与管理。但是,狍对各个因子的选择倾向差异很大,尤其在森林景观格局及植被特征发生变化时差异更为显著。例如,有研究表明狍不喜欢农田这一人工生境,也有研究表明狍喜欢农田,因为当农田出现时,狍的觅食、栖息等行为甚至生理特征受到影响,最终被动或主动地改变生境选择策略(Telleria & Virgos, 1997; Hewison et al, 2001; Jepsen

& Topping, 2004);再如狩猎的出现也会改变狍的活动范围(Richard et al, 2013)。另外,生境因子之间相互联系和权衡,也会导致选择倾向的差异,例如为了躲避威胁或伤害,狍可能选择隐蔽的生境躲避(葛志勇等, 2012),也可能选择开阔的生境迅速逃跑。这些不同的选择倾向都需要进一步深入研究,目前我国狍的重要分布区,尤其是受到人类活动影响的地区,缺乏足够的研究案例确定这些选择倾向及解释其差异性。

小兴安岭是西伯利亚狍(*Capreolus pygargus*)(张明海等, 2005)的重要分布区,森林景观受人为活动的影响而呈现农田镶嵌其中的格局,植被等特征也有所改变,现有的生境选择研究还不能完整系统地阐述这种情况下西伯利亚狍的选择行为特征。本研究在小兴安岭铁力林业局,采用痕迹调查法获取西伯利亚狍的生境利用数据,利用Bailey's法明确它们对各类生境因子的选择倾向,使用资源选择函数揭示它们的综合生境选择特征,以期为狍属动物种群的保护与管理提供科学依据。

1 研究区概况

铁力林业局(127°57'–128°12' E, 47°02'–47°36' N)位于小兴安岭南麓,东西宽45 km,南北长56 km,经营面积204,234 ha。地势为低山丘陵,东北高西南低,平均海拔513 m,最高海拔1,148 m,最低海拔225 m。土壤类型主要为山地暗棕壤(王崇民, 2014; 吴文等, 2016)。该区属寒温带大陆性季风气候,冬季严寒干燥,夏季温和多雨;年均气温1.4℃,最冷月(1月)平均气温–23.1℃,最热月(7月)平均气温21.4℃;年均降水量630 mm,集中于6–8月。该区水平地带性植被为温带针阔混交林,以红松(*Pinus koraiensis*)为主,伴生多种温带阔叶树种;由于人类干扰,当地植被现已演变为以阔叶树为主的天然次生林。现有林地面积172,381 ha,占总面积的84.4%,未成林和疏林地面积4,753 ha,占总面积的

2.4%, 其他土地面积26,967 ha, 占总面积的13.2%, 其中农田约占总面积的7%左右(王崇民, 2014)。

2 研究方法

2.1 样方的设置和调查

根据地形图和前期调查结果, 在铁力林业局设置22条样线, 每条样线长1.5 km左右, 样线呈“Z”字型排列(Strindberg & Buckland, 2004), 于2014年11月、2015年1月和12月沿着样线共设置生境利用样方105个和对照样方68个。

调查人员沿着样线行进, 遇到西伯利亚兔的活动痕迹(蹄印、粪便、尿痕、蹭痕、卧痕或采食痕迹)时, 以活动痕迹为中心设置1个10 m × 10 m的利用样方, 在样方内设置3个2 m × 2 m的灌木样方和3个1 m × 1 m的草本样方, 调查和记录以下15个生境因子的特征(骆颖等, 2009; 滕丽微等, 2010a):

(1)海拔(m): 用GPS记录样方中心点的海拔高度。

(2)坡向: 首先用GPS记录样方中心点的经纬度, 再利用ArcGIS软件在DEM中提取坡向, 定义正北方向为0°, 沿顺时针方向分为阳坡(135°–225°)、阴坡(0°–45°、315°–360°)、半阴半阳坡(45°–135°、225°–315°)。

(3)坡度(°): 用罗盘仪在样方中心测量。

(4)坡位: 判断样方所在区域的坡位, 分为下坡位、中坡位、上坡位。

(5)植被类型: 划分为针叶林、针阔混交林、阔叶林、灌丛和农田。

(6)林龄(yr): 根据样方内乔木的胸径和轮枝估算。

(7)郁闭度(%): 估测样方内乔木树冠盖度。

(8)乔木数量(棵): 计数样方内乔木数量。

(9)乔木平均高(m): 使用测高仪测量样方内每棵乔木的高度, 计算平均值。

(10)乔木平均胸径(cm): 使用围尺测量样方内每棵乔木的胸径, 计算平均值。

(11)灌木盖度(%): 估测3个2 m × 2 m样方内灌木的盖度, 计算平均值。

(12)草本盖度(%): 估测3个1 m × 1 m样方内草本的盖度, 计算平均值。

(13)食物丰富度: 根据可食草本和灌木嫩枝条数量划分食物丰富度, 为无(0–20%)、少(20%–40%)、一般(40%–60%)、多(60%–80%)、丰富(80%–100%)。

(14)能见度(m): 指在样方中能看到的最大距离,

一人持皮尺一端站在样方中心, 另一人持皮尺的另一端分别向4个顶点方向行走, 至相互看不见时记录皮尺读数, 计算4个方向的平均值。

(15)雪深(cm): 在样方内随机选取3个位置测量雪深, 计算平均值。

沿着上述样线, 每隔200 m设置1个10 m × 10 m的对照样方, 在样方内设置3个2 m × 2 m的灌木样方和3个1 m × 1 m的草本样方, 测量和记录与利用样方内同样的生境因子特征。如果在对照样方的预定位置出现西伯利亚兔的活动痕迹, 则沿着样线向前移动50–100 m, 重新设置对照样方。

2.2 西伯利亚兔对生境因子的选择倾向分析

除植被类型、食物丰富度、坡向和坡位划分类别外, 其余11个生境因子根据本研究测得的数值分别划分为3个等级(周绍春等, 2010)(表1), 再利用Bailey's法判断西伯利亚兔对某一生境因子类别或等级的选择性(Neu et al, 1974; Byers et al, 1984)。

P_i 为实际利用比例, $P_i = n_i/N$, n_i 代表*i*类别或等级样方数, N 代表利用样方总数。

对于选定的置信度($\alpha = 0.05$), P_i 的Bailey's置信区间 $[P_i^L, P_i^U]$ 的端点值计算公式为(Byers et al, 1984; 戎可等, 2009):

$$P_i^L = \frac{\left(\sqrt{P_{iL}} - \sqrt{C(C+1-P_{iL})}\right)^2}{(C+1)^2} \quad (1)$$

$$P_i^U = \frac{\left(\sqrt{P_{iU}} + \sqrt{C(C+1-P_{iU})}\right)^2}{(C+1)^2} \quad (2)$$

$$C = \frac{B}{4N} \quad (3)$$

$$P_{iL} = \frac{n_i - \frac{1}{8}}{N + \frac{1}{8}} \quad (4)$$

$$P_{iU} = \frac{n_i + \frac{7}{8}}{N + \frac{1}{8}} \quad (5)$$

式中, B 为置信度(α/k)和自由度为1时的卡方分布单尾检验临界值, k 代表类别或等级数。利用Excel程序的CHIINV(α/k , 1)函数计算。

P_{io} 为期望利用比例, 与 P_i 的Bailey's置信区间比较, 当 $P_{io} < P_i^L$ 时表示偏好选择, 选择性记作“+”; 当 $P_{io} > P_i^U$ 时表示避开选择, 选择性记作“-”; 在置信

表1 生境因子划分标准及西伯利亚狍对生境因子的选择倾向

Table 1 Classification criteria of habitat factors and selectivity of roe deer using each habitat factor

生境因子 Habitat factor	类别或等级标准 Classification criteria	实际利用比例 Actual propor- tion used (P_i)	期望利用比例 Expected propor- tion used (P_{i_0})	P_i 的Bailey's 95%置信区间 Bailey's 95% interval for P_i	选择性 Preference
海拔 Altitude (H_{alt} , m)	≤ 300 $300 < H_{alt} < 450$ ≥ 450	0.732 0.181 0.087	0.723 0.221 0.056	$0.728 \leq P_{Halt1} \leq 0.741$ $0.156 \leq P_{Halt2} \leq 0.213$ $0.062 \leq P_{Halt3} \leq 0.121$	+
坡向 Aspect of slope (Asp)	半阴半阳坡 Half-sunny slope 阴坡 Shady slope 阳坡 Sunny slope	0.695 0.181 0.124	0.694 0.196 0.110	$0.650 \leq P_{Asp1} \leq 0.741$ $0.156 \leq P_{Asp2} \leq 0.214$ $0.090 \leq P_{Asp3} \leq 0.169$	0
坡度 Gradient (Grad)	$\leq 4^\circ$ $4^\circ < Grad < 8^\circ$ $\geq 8^\circ$	0.307 0.331 0.362	0.462 0.236 0.303	$0.303 \leq P_{Grad1} \leq 0.316$ $0.300 \leq P_{Grad2} \leq 0.367$ $0.318 \leq P_{Grad3} \leq 0.411$	-
坡位 Slope position (Pos)	上 Upper 中 Middle 下 Lower	0.238 0.352 0.410	0.208 0.416 0.376	$0.234 \leq P_{Pos1} \leq 0.249$ $0.317 \leq P_{Pos2} \leq 0.394$ $0.359 \leq P_{Pos3} \leq 0.465$	+
植被类型 Vegetation type (Veg)	农田 Farmland 灌丛 Shrub 针叶林 Coniferous forest 阔叶林 Broad-leaved forest 针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	0.152 0.048 0.067 0.648 0.086	0.092 0.087 0.058 0.653 0.110	$0.112 \leq P_{Veg1} \leq 0.205$ $0.034 \leq P_{Veg2} \leq 0.071$ $0.064 \leq P_{Veg3} \leq 0.076$ $0.593 \leq P_{Veg4} \leq 0.702$ $0.061 \leq P_{Veg5} \leq 0.121$	+
林龄 Tree age (Age, yr)	≤ 25 $25 < Age < 45$ ≥ 45	0.228 0.480 0.291	0.174 0.559 0.267	$0.225 \leq P_{Age1} \leq 0.237$ $0.447 \leq P_{Age2} \leq 0.518$ $0.250 \leq P_{Age3} \leq 0.339$	+
郁闭度 Canopy closure (C)	≤ 0.3 $0.3 < C < 0.6$ ≥ 0.6	0.331 0.441 0.228	0.421 0.421 0.159	$0.327 \leq P_{C1} \leq 0.340$ $0.408 \leq P_{C2} \leq 0.479$ $0.191 \leq P_{C3} \leq 0.273$	-
乔木数量 Number of trees (N)	≤ 15 $15 < N < 30$ ≥ 30	0.913 0.071 0.016	0.656 0.159 0.185	$0.910 \leq P_{N1} \leq 0.921$ $0.054 \leq P_{N2} \leq 0.095$ $0.006 \leq P_{N3} \leq 0.038$	+
乔木平均高 Average tree height (H_{tree} , m)	≤ 10 $10 < H_{tree} < 15$ ≥ 15	0.189 0.189 0.622	0.144 0.128 0.728	$0.186 \leq P_{Htree1} \leq 0.198$ $0.164 \leq P_{Htree2} \leq 0.221$ $0.576 \leq P_{Htree3} \leq 0.669$	+
乔木平均胸径 Average DBH (DBH, cm)	≤ 10 $10 < DBH < 20$ ≥ 20	0.339 0.488 0.173	0.251 0.585 0.164	$0.335 \leq P_{DBH1} \leq 0.348$ $0.455 \leq P_{DBH2} \leq 0.526$ $0.140 \leq P_{DBH3} \leq 0.215$	+
灌木盖度 Shrub coverage (C_{shrub})	≤ 0.3 $0.3 < C_{shrub} < 0.6$ ≥ 0.6	0.567 0.323 0.110	0.477 0.354 0.169	$0.563 \leq P_{Cshrub1} \leq 0.576$ $0.292 \leq P_{Cshrub2} \leq 0.359$ $0.083 \leq P_{Cshrub3} \leq 0.147$	+
草本盖度 Herbage coverage (C_{herb})	≤ 0.2 $0.2 < C_{herb} < 0.4$ ≥ 0.4	0.480 0.299 0.220	0.626 0.205 0.169	$0.476 \leq P_{Cherb1} \leq 0.490$ $0.269 \leq P_{Cherb2} \leq 0.335$ $0.183 \leq P_{Cherb3} \leq 0.265$	-
食物丰富度 Food abundance (Fa)	无 Nothing 少 Little 一般 General 多 Much 丰富 Rich	0.076 0.038 0.067 0.610 0.210	0.087 0.121 0.179 0.422 0.191	$0.073 \leq P_{Fa1} \leq 0.086$ $0.026 \leq P_{Fa2} \leq 0.060$ $0.045 \leq P_{Fa3} \leq 0.099$ $0.555 \leq P_{Fa4} \leq 0.665$ $0.162 \leq P_{Fa5} \leq 0.266$	-
能见度 Visibility (Vis, m)	≤ 50 $50 < Vis < 90$ ≥ 90	0.567 0.252 0.181	0.703 0.179 0.118	$0.563 \leq P_{Vis1} \leq 0.576$ $0.224 \leq P_{Vis2} \leq 0.287$ $0.147 \leq P_{Vis3} \leq 0.223$	+
雪深 Snow depth (Sd, cm)	≤ 10 $10 < Sd < 20$ ≥ 20	0.622 0.087 0.291	0.503 0.241 0.256	$0.618 \leq P_{Sd1} \leq 0.631$ $0.069 \leq P_{Sd2} \leq 0.113$ $0.250 \leq P_{Sd3} \leq 0.339$	+

+表示偏好选择, -表示避开选择, 0表示随机选择。

+ represents preference selection, - represents avoidance selection, 0 represents random selection.

区间内表示随机选择, 选择性记作“0”。

2.3 西伯利亚狍生境资源选择函数的构建

资源选择函数既能分析野生动物对单个生境因子的选择性, 又能兼顾生境因子的综合效应, 应用比较广泛。资源选择函数的计算公式如下(Boyce et al, 2003; Boyce, 2006):

$$Y(X) = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n) \quad (6)$$

式中: X 为生境因子, β 表示选择系数。

为了构建西伯利亚狍的资源选择函数, 先将15个生境因子中的植被类型、食物丰富度、坡向和坡位赋值, 其中植被类型中的针叶林、针阔混交林、阔叶林、灌丛和农田分别赋值1、2、3、4、5; 食物丰富度中的丰富、多、一般、少和无分别赋值1、2、3、4、5; 坡向中的阳坡、阴坡和半阴半阳坡分别赋值1、2、3; 坡位中的下坡位、中坡位和上坡位分别赋值1、2、3。然后, 将这4个生境因子的赋值和其余11个生境因子的测量值作为自变量输入广义线性模型(generalized linear model, GLM)中, 利用MASS包中的向后逐步回归的方法来选择进入方程的变量。当模型AIC值最小时, 将剩余的生境因子根据最大似然估计多次迭代, 进行逻辑斯蒂回归分析, 最终进入函数方程的生境因子均为具有明显统计学意义的变量。

资源选择概率为 $P = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n) / [1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)]$, P 取值范围为0–1, 越趋近于1选择概率越大(滕丽微等, 2010a; 朱洪强等, 2013)。

上述计算过程利用R 3.0.1 (<http://www.r-project.org/>)完成(方匡南等, 2015)。

3 结果

3.1 西伯利亚狍对生境因子的选择倾向

Bailey’s法分析结果表明, 西伯利亚狍倾向选择的地形特征分别为海拔 ≤ 300 m或 ≥ 450 m、上坡位或坡度 $> 4^\circ$; 倾向选择的植被特征分别为农田或针叶林、林龄 ≤ 25 yr、郁闭度 ≥ 0.6 、乔木数量 ≤ 15 棵、乔木平均高 < 15 m、乔木平均胸径 ≤ 10 cm、灌木盖度 ≤ 0.3 或草本盖度 > 0.2 ; 倾向选择的食物特征为食物多; 倾向选择的安全特征分别为能见度 > 50 m或雪深 ≤ 10 cm(表1)。

3.2 西伯利亚狍的生境资源选择函数

广义线性模型分析结果显示, 剔除海拔、坡位、草本盖度、食物丰富度和雪深5个因子后, 模型AIC值最小。然后将剩下的10个因子重新拟合方程, 通过向后逐步回归法选择出具有明显统计学意义的变量为: 坡向、坡度、植被类型、郁闭度、乔木数量、乔木平均高和能见度。西伯利亚狍的生境资源选择函数模型为: $Y(X) = \exp(-4.153 + 1.148 \times \text{坡向} + 0.310 \times \text{坡度} + 0.672 \times \text{植被类型} + 7.099 \times \text{郁闭度} - 0.196 \times \text{乔木数量} - 0.355 \times \text{乔木平均高} + 0.080 \times \text{能见度})$ (表2)。资源选择函数模型的MacFadden R^2 统计量为0.836, 表明拟合情况良好; LR检验中 χ^2 为187.45, P 值小于0.001, 模型通过显著性检验。根据资源选择函数系数及选择概率公式可知, 在本研究的生境变量范围内, 西伯利亚狍的生境综合选择概率随乔木数量和乔木平均高增加而降低, 随能见度、坡度和郁闭度增加而升高, 随坡向、植被类型的值增加而升高。

表2 西伯利亚狍冬季生境资源选择函数的生境因子及选择系数
Table 2 Habitat factors and selection coefficients of habitat resource selection function of roe deer over winter

变量 Variable	回归系数 β Regression coefficient β	标准误 Standard error	Wald 统计量 Wald statistic	P
坡向 Aspect of slope	1.148	0.564	2.037	0.042*
坡度 Gradient	0.310	0.112	2.767	0.006**
郁闭度 Canopy closure	7.099	2.246	3.161	0.002**
植被类型 Vegetation type	0.672	0.319	2.110	0.035*
乔木数量 Number of trees	-0.196	0.046	-4.291	1.78e-05**
乔木平均高 Average tree height	-0.355	0.095	-3.730	0.000**
能见度 Visibility	0.080	0.031	2.533	0.011*
常量 Constant	-4.153	2.398	-1.732	0.083

*表示差异显著; **表示差异极显著
* difference was significant; ** difference was extremely significant

4 讨论

4.1 西伯利亚狗对生境因子的选择倾向

西伯利亚狗对各生境因子的选择性研究结果中,两个选择倾向与国内已有研究结果不同:

一是植被类型方面,本研究结果表明西伯利亚狗倾向选择农田。国内部分研究案例的研究区内没有农田,故没有关于农田选择性的结论(葛志勇等, 2012; 朱洪强等, 2013), 周绍春等(2010)证明在完达山的五泡林场和河口林场狗不选择农田, 只有滕丽微等(2006, 2010a)在三江自然保护区得出狗喜欢农田的结论。国外多数研究表明狗喜欢农田, 农田的出现甚至导致鹿科动物种群数量大幅增加(Telleria & Virgos, 1997), 本研究与这些研究结果一致, 可能因为: (1)铁力林业局种植的农作物是玉米和大豆, 秋收后大量秸秆和少量果实残存, 比其他类型生境能提供更丰富的食物和营养。同时, 农田地势相对平坦, 取食容易, 站秆或堆状残留物极易被发现, 即使被积雪覆盖, 也容易被刨出(滕丽微等, 2006); (2)本研究区呈现以森林(面积比例84.4%)为基质、小面积农田斑块镶嵌其中的景观格局, 同时为狗提供了休息地和觅食地; (3)西伯利亚狗具有一定的适应能力(Hewison et al, 2001; Morellet et al, 2011), 逐渐适应农田的出现和扩大, 到农田取食和活动(Jepsen & Topping, 2004; Abbas et al, 2011)。

二是安全方面, 本研究认为西伯利亚狗对逃跑条件的需求更高, 喜欢相对开阔、障碍少的生境。国内多数研究使用“隐蔽级”或“隐蔽水平”来强调鹿科动物对“隐蔽”的需求(骆颖等, 2009; 周绍春等, 2010), 并证明狗喜欢隐蔽程度较高的生境(葛志勇等, 2012; 朱洪强等, 2013)。本研究的结果表明, 在森林景观中, 没有防御能力、以奔跑逃避为对策的西伯利亚狗, 不仅需要隐蔽、更需要提早知道危险的来临以及有利于逃跑的生境条件, 也就是说, 如果在隐蔽和逃跑之间权衡, 逃跑更为重要, 即大的视野范围和有利于逃跑的生境条件更为重要。这得到一些文献的支持, 如Grovenburg等(2012)研究表明白尾鹿(*Odocoileus virginianus*)幼仔为了逃脱天敌的猎捕, 喜欢选择草地和湿地等开阔的生境。因此, 本文探索性地使用了“能见度”替代以往研究中的“隐蔽度”, 意在简单直观地反映视野范围和逃跑的生境条件, 能见度高意味着视野开阔, 同时障碍

少、利于迅速逃跑。本研究也证实, 相比而言, 西伯利亚狗喜欢能见度大于50 m的生境。同时, 本研究中西伯利亚狗对灌丛的选择结果也可以从它们感知威胁、利于逃跑的安全角度来理解。有研究认为狗喜欢灌丛, 是因为高密度的灌丛可以为它们提供食物和隐蔽物(滕丽微等, 2010b), 而本研究中西伯利亚狗避免选择灌丛, 可能因为本研究区的灌丛类型包括蒿柳(*Salix viminalis*)灌丛、榛子(*Corylus heterophylla*)灌丛和胡枝子(*Lespedeza bicolor*)灌丛(周以良, 1994), 其中蒿柳灌丛冬季“塔头”裸露, 地表凹凸不平, 一定程度上阻碍了西伯利亚狗的行动; 榛子和胡枝子灌丛密度很大, 枝桠繁密, 不仅阻碍行动还严重影响能见度。我们的结论和国内个别研究一致, 如周绍春等(2010)研究表明灌木密度过高不利于动物行走; 也和当地人的感性认识一致, 他们将灌丛的高密度状态称作“闹”, 并且肯定通常情况下西伯利亚狗不会出现在“闹”的地方。

此外, 还有部分选择倾向与国内其他研究结果不同, 但目前尚不能解释其原因, 只能一定程度地推测, 有待深入研究。例如, 对地形因子的选择结果可能反映了人类活动的影响, 滕丽微等(2010a)和周绍春等(2010)认为狗喜欢中坡位或者下坡位, 本文结果表明西伯利亚狗喜欢上坡位, 推测可能与本研究区尚存零星的捕猎活动有关, 已有研究证实人为活动能够改变鹿科动物的活动范围(Quinn et al, 2013; Richard et al, 2013), 可以一定程度支持这种推测, 但仍需进一步证实; 通常情况下, 狗多出现在阳坡, 但本研究中随机选择3个坡向, 这是否也与人类活动有关, 都需要深入研究。

4.2 西伯利亚狗对资源的综合选择

本研究资源选择函数筛选出的生境选择变量为地形特征(坡度和坡向)、植被特征(植被类型、郁闭度、乔木数量和乔木平均高)和能见度, 与其他研究结果相比, 具有一定的共性, 即筛选出了相同的因子, 如坡向(周绍春等, 2010; 朱洪强等, 2013)、植被类型(滕丽微等, 2006)和郁闭度(Ewald et al, 2014), 同时更大程度地显示了差异性, 即筛选出的因子大多不相同。导致这种差异的原因是: (1)在各个研究区最初选择的调查因子不同; (2)某个生境因子是否被选入资源选择函数与其本身状况密切相关, 如食物丰富度因子, 如果当地食物不足, 该因子就可能成为综合选择的重要因子, 本研究区西伯利亚狗密

度较小、食物相对充足,故没有成为重要因子。各研究案例中生境因子状态差异很大,结果差异就很大;(3)即使同一研究区,在不同的空间尺度和时间点如冬夏和昼夜,狍的生境选择也有显著差异(Boyce et al, 2003; Boyce, 2006; 滕丽微等, 2006)。这种差异性同时提示了在狍的重要分布区开展生境选择案例研究的必要性和重要性。

资源选择函数筛选结果中,除地形特征外,植被特征和能见度都与森林植被状况密切相关,改善植被状况就会改善西伯利亚狍的生境质量。铁力林业局商业采伐从建国初期开始,严重破坏了森林资源,1998年天然林保护工程实施以后规模逐渐减小,至2014年全部停止。停止采伐后森林开始恢复,虽然自然恢复过程复杂,各个生境因子变化很大,一定时期内可能并不利于西伯利亚狍的生存,人为辅助措施短期内也不能迅速改变植被特征,如定期割灌抚育后的灌木枝丫被保留在原地,短期内增大能见度的同时也阻碍了西伯利亚狍的活动,但长远来看,停采后植被的恢复一定程度上有助于西伯利亚狍种群的生存(Partl et al, 2002)。

4.3 生境选择、景观格局与西伯利亚狍种群的保护

本文所揭示的西伯利亚狍生境选择倾向为景观尺度的种群保护实践提供了参考,即可通过调整景观格局保护种群;同时也为景观尺度的种群保护研究提出了新课题,即怎样调整景观格局最适合种群的恢复和保护。例如,西伯利亚狍喜欢农田,从这个角度而言,适当增加农田面积可以为它们提供更多优质食物,但另一方面,如果农田面积过大,西伯利亚狍更易受到伤害,躲避伤害的行为成本也增大。更进一步,农田斑块与林地之间适当的空间配置也非常重要,数量多、小面积的农田斑块可能比大面积连续的农田斑块能更好地同时满足食物和安全需要。因此,适宜的农田林地的面积比例和空间配置等都将是景观尺度保护狍种群研究中需要深入探讨的问题。

参考文献

- Abbas F, Morellet N, Hewison AJM, Merlet J, Cargnelutti B, Lourtet B, Angibault J, Daufresne T, Aulagnier S, Verheyden H (2011) Landscape fragmentation generates spatial variation of diet composition and quality in a generalist herbivore. *Oecologia*, 167, 401–411.
- Borkowski J, Ukalska J (2008) Winter habitat use by red and roe deer in pine-dominated forest. *Forest Ecology and Management*, 255, 468–475.
- Boyce MS (2006) Scale for resource selection functions. *Diversity and Distributions*, 12, 269–276.
- Boyce MS, Mao JS, Merrill EH, Fortin D, Turner MG, Fryxell J, Turchin P (2003) Scale and heterogeneity in habitat selection by elk in Yellowstone National Park. *Ecoscience*, 10, 421–431.
- Byers CR, Steinhorst RK, Krausman PR (1984) Clarification of a technique for analysis of utilization-availability data. *Journal of Wildlife Management*, 48, 1050–1053.
- Ewald M, Dupke C, Heurich M, Mueller J, Reineking B (2014) LiDAR remote sensing of forest structure and GPS telemetry data provide insights on winter habitat selection of European roe deer. *Forests*, 5, 1374–1390.
- Fang KN, Zhu JP, Jiang YF (2015) *R Data Analysis: Methods and Application*. Publishing House of Electronics Industry, Beijing. (in Chinese) [方匡南, 朱建平, 姜叶飞 (2015) *R* 数据分析: 方法与案例详解. 电子工业出版社, 北京.]
- Ge ZY, Zhu HQ, Mao ZX, Zhang DD, Jiang CY, Li C, Zhang XD, Wang HJ (2012) Wintering habitat selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve, Jilin Province of Northeast China. *Chinese Journal of Ecology*, 31, 943–948. (in Chinese with English abstract) [葛志勇, 朱洪强, 毛之夏, 张冬冬, 姜春艳, 李成, 张晓东, 王海军 (2012) 黄泥河自然保护区狍冬季栖息地选择. 生态学杂志, 31, 943–948.]
- Grovenburg TW, Monteith KL, Klaver RW, Jenks JA (2012) Predator evasion by white-tailed deer fawns. *Animal Behaviour*, 84, 59–65.
- Heinze E, Boch S, Fischer M, Hessenmoller D, Klenk B, Muller J, Prati D, Schulze ED, Seele C, Socher S, Halle S (2011) Habitat use of large ungulates in northeastern Germany in relation to forest management. *Forest Ecology and Management*, 261, 288–296.
- Hemami MR, Watkinson AR, Dolman PM (2004) Habitat selection by sympatric muntjac (*Muntiacus reevesi*) and roe deer (*Capreolus capreolus*) in a lowland commercial pine forest. *Forest Ecology and Management*, 194, 49–60.
- Hewison AJM, Vincent JP, Joachim J, Angibault JM, Cargnelutti B, Cibien C (2001) The effects of woodland fragmentation and human activity on roe deer distribution in agricultural landscapes. *Canadian Journal of Zoology*, 79, 679–689.
- Jepsen JU, Topping CJ (2004) Modelling roe deer (*Capreolus capreolus*) in a gradient of forest fragmentation: behavioural plasticity and choice of cover. *Canadian Journal of Zoology*, 82, 1528–1541.
- Linnell JDC, Nilsen EB, Andersen R (2004) Selection of bed-sites by roe deer *Capreolus capreolus* fawns in an agricultural landscape. *Acta Theriologica*, 49, 103–111.
- Luo Y, Zhang MM, Liu ZS, Li ZG, Hu TH, Zhai H (2009) Winter and spring habitat selection of red deer (*Cervus elaphus alxaicus*) in the Helan Mountains, China. *Acta*

- Ecologica Sinica, 29, 2757–2763. (in Chinese with English abstract) [骆颖, 张明明, 刘振生, 李志刚, 胡天华, 翟昊 (2009) 贺兰山马鹿冬春季生境的选择. 生态学报, 29, 2757–2763.]
- Morellet N, Van MB, Cargnelutti B, Angibault JM, Lourtet B, Merlet J, Ladet S, Hewison AJM (2011) Landscape composition influences roe deer habitat selection at both home range and landscape scales. *Landscape Ecology*, 26, 999–1010.
- Mysterud A, Bjornsen BH, Ostbye E (1997) Effects of snow depth on food and habitat selection by roe deer *Capreolus capreolus* along an altitudinal gradient in south-central Norway. *Wildlife Biology*, 3, 27–33.
- Neu CW, Byers CR, Peek JM (1974) Technique for analysis of utilization–availability data. *Journal of Wildlife Management*, 38, 541–545.
- Partl E, Szinovatz V, Reimoser F, Schweiger-Adler J (2002) Forest restoration and browsing impact by roe deer. *Forest Ecology and Management*, 159, 87–100.
- Quinn ACD, Williams DM, Porter WF (2013) Landscape structure influences space use by white-tailed deer. *Journal of Mammalogy*, 94, 398–407.
- Richard E, Calenge C, Said S, Hamann J, Gaillard J (2013) Studying spatial interactions between sympatric populations of large herbivores: a null model approach. *Ecography*, 36, 157–165.
- Rong K, Zong C, Ma JZ (2009) Method for analysis of habitat selection data: Bailey's interval. *Zoological Research*, 30, 215–220. (in Chinese with English abstract) [戎可, 宗诚, 马建章 (2009) Bailey's方法在生境选择研究中的应用. 动物学研究, 30, 215–220.]
- Strindberg S, Buckland ST (2004) Zigzag survey designs in line transect sampling. *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics*, 9, 443–461.
- Telleria JL, Virgos E (1997) Distribution of an increasing roe deer population in a fragmented Mediterranean landscape. *Ecography*, 20, 247–252.
- Teng LW, Liu ZS, Zhang ED, Ma JZ (2006) Winter bedding site selection by the roe deer (*Capreolus capreolus*) in Sanjiang National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China. *Zoological Research*, 27, 403–410. (in Chinese with English abstract) [滕丽微, 刘振生, 张恩迪, 马建章 (2006) 黑龙江省三江自然保护区狍对冬季卧息地的选择. 动物学研究, 27, 403–410.]
- Teng LW, Liu ZQ, Ma JZ, Sun YL, Wang L (2010a) Winter bed site selection by roe deer in Sanjiang National Nature Reserve, Heilongjiang Province. *Journal of Northeast Forestry University*, 38(11), 86–88. (in Chinese with English abstract) [滕丽微, 刘知奇, 马建章, 孙云龙, 王磊 (2010a) 黑龙江三江自然保护区狍对冬季卧息地的选择. 东北林业大学学报, 38(11), 86–88.]
- Teng LW, Wang L, Ma JZ, Sun YL, Liu ZQ (2010b) Micro-habitat selection by *Capreolus capreolus* in winter in Liangshui National Nature Reserve. *Journal of Northeast Forestry University*, 38(8), 95–98. (in Chinese with English abstract) [滕丽微, 王磊, 马建章, 孙云龙, 刘知奇 (2010b) 凉水国家级自然保护区狍冬季对微生境的选择. 东北林业大学学报, 38(8), 95–98.]
- Wang CM (2014) Analysis on forestland inventory in target year of forestland protection and utilization planning in Tieli Forestry Bureau. *Forest Investigation Design*, (2), 1–3. (in Chinese with English abstract) [王崇民 (2014) 铁力林业局林地保护利用规划目标年的林地保有量分析. 林业勘查设计, (2), 1–3.]
- Wu W, Li YH, Hu YM, Chen L, Li Y, Li ZM, Nie ZW, Chen T (2016) Suitable winter habitat for *Cervus elaphus* on the southern slope of the Lesser Xing'an Mountains. *Biodiversity Science*, 24, 20–29. (in Chinese with English abstract) [吴文, 李月辉, 胡远满, 陈龙, 李悦, 李泽鸣, 聂志文, 陈探 (2016) 小兴安岭南麓马鹿冬季适宜生境评价. 生物多样性, 24, 20–29.]
- Zhang MH, Xiao CT, Koh HS (2005) Taxonomic status of roe deer in northeastern China based on mitochondrial DNA sequences. *Acta Theriologica Sinica*, 25, 14–19. (in Chinese with English abstract) [张明海, 肖朝庭, Hungsun Koh (2005) 从分子水平探讨中国东北狍的分类地位. 兽类学报, 25, 14–19.]
- Zhou SC, Zhang MH, Yin YX, Ren MF (2010) Habitat selection of roe deer (*Capreolus capreolus*) in winter in the eastern Wandashan Mountain, Heilongjiang Province. *Journal of Beijing Forestry University*, 32(3), 122–127. (in Chinese with English abstract) [周绍春, 张明海, 尹远新, 任梦非 (2010) 黑龙江完达山地区狍子冬季生境选择. 北京林业大学学报, 32(3), 122–127.]
- Zhou YL (1994) Vegetation of Xiao Hinggan Ling in China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [周以良 (1994) 中国小兴安岭植被. 科学出版社, 北京.]
- Zhu HQ, Ge ZY, Liu G, Jiang CY, Zhang DD, Zhang XD, Chang SH, Mao ZX (2013) Winter bed-site selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 33, 2054–2061. (in Chinese with English abstract) [朱洪强, 葛志勇, 刘庚, 姜春艳, 张冬冬, 张香东, 常素慧, 毛之夏 (2013) 黄泥河自然保护区狍冬季卧息地选择. 生态学报, 33, 2054–2061.]

(责任编辑: 蒋志刚 责任编辑: 闫文杰)