

环长白山旅游公路对中大型兽类的阻隔作用

王云^{1*} 关磊¹ 朴正吉² 孔亚平¹

(¹交通运输部科学研究院, 北京 100029; ²长白山科学研究院, 吉林二道白河 133613)

摘要 道路对野生动物的阻隔作用是理解道路对野生动物影响的重要内容。选择毗邻和穿越长白山国家级自然保护区的环长白山旅游公路, 于 2008—2012 年通过路域样线调查, 评价了公路对中大型兽类的阻隔作用以及不同植被类型对中大型兽类活动的影响。结果显示: (1) 路域 500 m 范围内有 12 种中大型兽类活动, 包括 5 种国家级保护物种; (2) 红松阔叶林中的中大型兽类的种类和痕迹数量显著大于白桦次生林; (3) 公路的自然保护区侧兽类种类显著大于非保护区侧, 尤其在雪季, 自然保护区侧的兽类种类和痕迹数量都显著大于非保护区侧; (4) 野猪 (*Sus scrofa*)、西伯利亚狍 (*Capreolus pygargus*)、黄鼬 (*Mustela sibirica*)、紫貂 (*Martes zibellina*)、黄喉貂 (*Martes flavigula*)、狗獾 (*Meles leucurus*)、松鼠 (*Sciurus vulgaris*) 和东北兔 (*Lepus mandshuricus*) 的痕迹数量在公路两侧和不同植被类型中都无显著差异, 但黄鼬的痕迹数量在雪季时的红松阔叶林内显著大于白桦次生林, 野猪和西伯利亚狍在非雪季时的红松阔叶林显著大于白桦次生林; (5) 雪季, 从路域 50 m 范围内兽类痕迹数量与兽类穿越率的关系来看, 马鹿 (*Cervus elaphus*) 穿越公路通道被限制在 K25~K27 区间, 受公路阻隔影响较大; (6) 兽类年度穿越率与交通量呈负相关关系, 但不显著。本研究表明, 环长白山旅游公路对兽类阻隔作用已经显现, 且随着时间推移, 阻隔作用有加强趋势。鉴于自然保护区外围人为干扰大的现状, 提出应加强自然保护区之间的动物迁移走廊建设的建议。

关键词 野生动物; 雪踪法; 动物痕迹; 动物种类; 生境选择; 道路生态学

Barrier effect of Ring Changbai Mountain Scenic Highway on middle and large sized mammals. WANG Yun^{1*}, GUAN Lei¹, PIAO Zheng-ji², KONG Ya-ping¹ (*China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China*; ²*Changbai Mountain Academy of Sciences, Erdaobaihe 133613, Jilin, China*).

Abstract: Recognition of barrier effect of road on wildlife is one of the main contents of road wildlife ecology research. In this paper, we selected the surrounding Ring Changbai Mountain Scenic Highway, which traverses the Changbai Mountain Nature Reserve, as a research area, and carried out sample line investigations from 2008 to 2012, to assess the barrier effect of highway on middle and large sized mammals. The results indicated that: (1) Twelve middle and large sized mammal species were found within the range of roadside 500 m, and five species were Chinese national protected species; (2) Species richness and the number of mammal signs in Korean pine broad-leaved forest were significantly higher than those in secondary white birch forest; (3) Species richness of inside reserve of the road was significantly higher than that of outside reserve of the road, and especially in snow season, species richness and the number of mammal signs of inside reserve of the road were significantly higher than those of outside reserve of the road; (4) The numbers of signs had no significant differences between two sides of the road and two vegetation types for wild boar (*Sus scrofa*), Siberian roe deer (*Capreolus pygargus*), Siberian weasel (*Mustela sibirica*), sable (*Martes zibellina*), yellow-throated marten (*Martes flavigula*), Asian badger (*Meles leucurus*), Eurasian red squirrel (*Sciurus vulgaris*) and Manchurian hare (*Lepus*

mandshuricus); however, the number of signs of Siberian weasel in Korean pine broad-leaved forest was significantly higher than in secondary white birch forest in snow season, and the number of signs of wild boar and Siberian roe deer in Korean pine broad-leaved forest were significantly higher than in secondary white birch forest in non-snow season; (5) In snow season, in terms of the relationship of the number of signs and the crossing rate within the range of roadside 50 m, the crossing section of red deer (*Cervus elaphus*) through the highway was limited only in K25 to K27, meaning that the barrier effect of highway on red deer was serious. (6) The yearly rate of crossing highway of mammals was negatively correlated to daily traffic volume, although the relationship was not significant. This study indicated the barrier effect of the Ring Changbai Mountain Scenic Highway on middle and large sized mammals had appeared, and this situation showed a serious tendency over time. Presently, human disturbance outside the nature reserve was serious, and we thus recommend building migration corridors for mammals between the nature reserves.

Key words: wildlife; snow tracking method; animal sign; animal species richness; habitat selection; road ecology.

道路对野生动物的影响已经成为道路生态学研究重要内容之一(Forman *et al.*, 2003)。道路对野生动物的影响可分为直接影响和间接影响,直接影响包括道路上行驶的车辆致死野生动物、道路建设占据和减小动物栖息地面积、道路及车辆形成的交通系统迫使野生动物改变移动路线等;间接影响包括车辆噪声、尾气等污染物进入路域范围退化栖息地从而形成野生动物回避带,或者道路的边缘效应反而导致某些边缘物种在此聚集,道路通车后人为干扰加剧从而进一步退化栖息地;道路成网后造成景观破碎化,进而导致小种群和局部灭绝的可能(Forman *et al.*, 1998; Spellerberg, 2002; 毛文碧等, 2009)。

道路对野生动物造成的直接致死效应最为显著,然而道路对两侧野生动物的阻隔效应(包括野生动物分布、移动、基因变化等)影响是长期的和间接的,不易证明,研究也较少(Baker, 1998)。道路对食肉类种群影响最大,不仅是直接的道路交通致死更重要的是间接的阻隔效应(Noss *et al.*, 1996)。我国在公路对野生动物阻隔方面也做了一些研究,如青藏公路和铁路对有蹄类动物的阻隔影响(裘丽等, 2004; 夏霖等, 2005; 殷宝法等, 2007), 思小高速公路对亚洲象穿越的影响(Pan *et al.*, 2009)。

我们在东北的环长白山旅游公路上发现了野生动物致死效应和鸟兽痕迹有向公路两侧 200 m 范围内聚集的趋势(朴正吉等, 2012a; 王云等, 2013; Wang *et al.*, 2013), 那么野生动物能否安全地穿越公路? 公路是否对兽类造成阻隔作用呢? 此外, 公路两侧植被类型大致分为红松阔叶林和白桦次生林, 两种生境对动物活动有影响吗? 本文拟从中大

型兽类对道路干扰下的栖息地选择、中大型兽类穿越道路与交通量的关系等方面来探讨道路的阻隔效应, 并深化我们对于种群通过痕迹分布密度来响应道路干扰的知识, 以全面理解道路与野生动物相互作用的机制。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

长白山国家级自然保护区位于吉林省的东南部, 地跨延边朝鲜族自治州的安图县和浑江地区的抚松县、长白县, 东南与朝鲜毗邻, 面积为 196465 hm^2 。动物有 1586 种, 其中两栖类 9 种, 爬行类 12 种, 鸟类 230 种, 哺乳类 56 种。属国家重点保护动物 49 种, 主要有国家 I 级重点保护野生动物紫貂 (*Martes zibellina*), 此外还有西伯利亚貂 (*Capreolus pygargus*)、黄鼬 (*Mustela sibirica*) 等, 另外, 国家 I 级重点保护动物东北虎 (*Panthera tigris altaica*) 曾在该地区出现(朴龙国等, 2013)。环长白山旅游公路于 2007 年年底开始扩建, 2009 年 10 月通车运行。主要沿着长白山自然保护区环区公路布线, 以利用现有的林道为主。起点为吉林省延边朝鲜族自治州安图县二道白河镇, 终点为白山市漫江镇, 全长 84 km, 有大约 21 km (K10~K31) 与保护区边缘重合, 有约 6 km (K31~K37) 穿越了长白山自然保护区实验区。公路采用二级公路标准, 设计行车速度 60 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, 路基宽度 10 m。

1.2 研究方法

2008 年 8、11 与 12 月, 2009 年 11 与 12 月, 2010 年 1、2 和 3 月我们沿着公路每 5 km 设置一条

样线,样线长 400 m 并垂直于公路,从公路中间向两侧各延伸 200 m,一共在 17 个点位设置样线(增加了 K32,考虑保护区段增加样线密度)。考虑到随着公路交通量的增加,公路对野生动物的影响可能会增大,我们将样线长度加长到 1 km,考虑到工作量和现场工作便利性,选择野生动物分布较多的 K15、K20、K25、K35 和 K50 共 5 处,从 2010 年 5 月—2012 年 2 月,设置垂直于公路的样线 1 km,从公路中间向两侧各延伸 500 m。所有样线每月至少调查 1 次,根据长白山区气候特点、野生动物活动规律,经过专家咨询,长白山区大致可分为雪季(11 月—次年 4 月)和非雪季(5—10 月),雪季调查一般在下雪后的第 3 天进行(朴正吉等,2012b),非雪季痕迹只能识别部分兽类,如野猪(*Sus scrofa*)、马鹿(*Cervus elaphus*)、西伯利亚狗和狗獾(*Meles leucurus*)。

选择天气晴好日子,沿所有样线搜寻兽类活动痕迹,包括实体、足迹、取食痕迹、卧迹、粪便等(Rhim *et al.*, 2003; 龚明昊等, 2012; 朴龙国等, 2013),记录指标包括方位(保护区侧或非保护区侧)、兽类种类、兽类痕迹数量、痕迹点与公路垂直距离(通过 GPS 识别)、植被类型(本路沿线大致分为两种类型-红松阔叶林和白桦次生林),单次所有样线调查在 3 d 之内完成,为避免痕迹识别误差,所有样线均为同一调查组人员完成。我们选择兽类种类和兽类痕迹数量作为指标,来对比分析公路两侧和不同植被类型中的兽类活动是否有差异,基于直接的痕迹数据可以减少物种丰富度估计的不确定性。

另外,雪季每次沿路调查时,记录穿越公路的兽类种类、频次、里程桩号。选择 5 条样线(K15、K20、K25、K35 和 K50)的冬季数据,计算路域近距离(50 m)范围内兽类痕迹数量,同时计算样线两侧 5 km 范围内的兽类穿越率(即平均每次调查中发现的兽类穿越公路的频次),选择 5 km 范围的理由主要有两点,第一是由于实际调查中发现穿越公路的兽类痕迹较少,为了最大程度反映样线集中路段的兽类穿越情况,选择统计样线两侧 5 km 范围能基本涵盖全部研究路段;第二是根据已有研究,本路两侧常见的黄鼬一晚的移动距离可达 8 km,野猪每天可在 10~20 km 范围内活动,紫貂每天活动距离可达 5~10 km(朴龙国等,2013),冬季调查中也常常发现黄鼬沿路移动数千米,因此选择 5 km 范围进行计算是保守的估计。同期,采用美国生产的便携式交通量

记录仪(型号 NC-200)2 台,分别布设于 2 个车道上,记录交通量。

兽类种类和痕迹数量以平均值±标准误表示。采用 GLM 广义线性模型分析公路保护区侧与非保护区侧、不同植被类型下的兽类种类和痕迹数量的差异性。通过计算 5 条样线冬季路域 50 m 范围内兽类痕迹数量与样线两侧 5 km 范围内的兽类穿越率之间的 Pearson 相关系数来分析各个物种的阻隔效应。通过计算年度日交通量与年度穿越率之间的 Pearson 相关系数分析阻隔作用的年度变化趋势。所有的统计分析均在大型统计软件 SPSS 17.0 进行,以 $P < 0.05$ 概率作为差异显著的标准。

2 结果与分析

公路路侧 500 m 范围内记录到 12 种中大型兽类活动痕迹,食肉目种类最多,有 6 种,分别为:黑熊(*Ursus thibetanus*)、黄喉貂(*Martes flavigula*)、紫貂、狗獾、伶鼬(*Mustela nivalis*)和黄鼬,其次为偶蹄目,有 4 种,分别为:梅花鹿(*Cervus nippon*)、马鹿、西伯利亚狗和野猪;兔形目和啮齿目各有一种,分别为东北兔(*Lepus mandshuricus*)和松鼠(*Sciurus vulgaris*)。紫貂、梅花鹿为国家 I 级保护物种,黑熊、黄喉貂、马鹿为国家 II 级保护物种。活动痕迹所占比例排序为:野猪 31.25%、西伯利亚狗 20.49%、黄鼬 14.65%、松鼠 9.04%、紫貂 7.42%、狗獾 7.09%、东北兔 4.22%、黄喉貂 2.60%、马鹿 2.18%、伶鼬 0.70%、黑熊 0.23% 和梅花鹿 0.14%。

公路两侧及不同植被类型下的兽类种类及痕迹数量的均值和标准误见表 1。总体看来,两种植被类型下的兽类种类和痕迹数量有显著差异,无论在雪季还是非雪季都是如此(表 2)。公路的自然保护区侧兽类种类显著大于非保护区侧,尤其在雪季,自然保护区侧的兽类种类和痕迹数量都显著大于非保护区侧(表 1 和表 2)。从具体种类上看,黄鼬的痕迹数量在雪季时的红松阔叶林内显著大于白桦次生林,野猪和西伯利亚狗在非雪季时的红松阔叶林显著大于白桦次生林(表 1 和表 2)。

雪季,路域 50 m 范围内兽类痕迹数量与兽类穿越率显著正相关($P < 0.05$) (图 1)。东北兔、紫貂和马鹿的痕迹数量与穿越率显著正相关($P < 0.05$);而黄鼬、黄喉貂、松鼠、西伯利亚狗和野猪的痕迹数量与穿越率虽正相关,但不显著($P > 0.05$) (图 2)。总体看来,从 2008—2012 年,随着交通量的逐年升高,

表 1 公路两侧及两种植被类型下中大型兽类种类及痕迹数量(头)的均值及标准误

Table 1 Means and SE of species richness and the number of middle and large sized mammals sign between two sides of road and two forest types

指标	因素	均值	标准误		
痕迹数量	保护区侧	7.73	0.44		
	非保护区侧	3.73	0.37		
	雪季保护区侧	7.38	0.54		
	雪季非保护区侧	3.43	0.29		
	非雪季保护区侧	8.40	0.75		
	非雪季非保护区侧	4.51	1.06		
	种类	红松阔叶林	8.93	0.50	
		白桦次生林	2.92	0.19	
		雪季红松阔叶林	8.92	0.58	
		雪季白桦次生林	2.97	0.23	
		非雪季红松阔叶林	8.95	0.89	
		非雪季白桦次生林	2.76	0.31	
		野猪	保护区侧	2.85	0.10
			非保护区侧	1.81	0.07
			雪季保护区侧	3.03	0.14
			雪季非保护区侧	1.88	0.08
非雪季保护区侧			2.49	0.12	
非雪季非保护区侧			1.65	0.10	
西伯利亚狍			红松阔叶林	2.98	0.10
			白桦次生林	1.73	0.06
			雪季红松阔叶林	3.43	0.15
			雪季白桦次生林	1.78	0.07
	非雪季红松阔叶林		2.40	0.11	
	非雪季白桦次生林		1.54	0.10	
	黄鼬		保护区侧	4.81	0.42
			非保护区侧	3.02	0.37
			雪季保护区侧	3.74	0.37
			雪季非保护区侧	1.85	0.23
		非雪季保护区侧	5.78	0.71	
		非雪季非保护区侧	4.03	0.60	
		东北兔	红松阔叶林	4.89	0.37
			白桦次生林	1.89	0.30
			雪季红松阔叶林	3.75	0.35
			雪季白桦次生林	1.67	0.22
非雪季红松阔叶林			5.73	0.58	
非雪季白桦次生林			2.29	0.71	
紫貂			保护区侧	3.08	0.25
			非保护区侧	2.33	0.31
			雪季保护区侧	3.52	0.36
			雪季非保护区侧	2.67	0.50
	非雪季保护区侧		2.40	0.28	
	非雪季非保护区侧		1.90	0.29	
	黄喉貂		红松阔叶林	3.18	0.26
			白桦次生林	2.18	0.28
			雪季红松阔叶林	3.72	0.39
			雪季白桦次生林	2.59	0.38
		非雪季红松阔叶林	2.45	0.29	
		非雪季白桦次生林	1.74	0.17	
		黄鼬	保护区侧	1.78	0.13
			非保护区侧	1.65	0.12

续表 1

Table 1 Continued

指标	因素	均值	标准误
狗獾	红松阔叶林	1.97	0.16
	白桦次生林	1.57	0.10
	保护区侧	2.19	0.28
	非保护区侧	1.72	0.16
松鼠	红松阔叶林	2.13	0.25
	白桦次生林	1.74	0.19
	保护区侧	1.64	0.12
	非保护区侧	1.72	0.22
紫貂	红松阔叶林	1.77	0.14
	白桦次生林	1.41	0.11
	保护区侧	2.13	0.21
	非保护区侧	1.73	0.38
东北兔	红松阔叶林	2.16	0.20
	白桦次生林	1.13	0.126
	保护区侧	2.00	0.26
	非保护区侧	2.31	0.36
黄喉貂	红松阔叶林	2.35	0.37
	白桦次生林	1.96	0.24
	保护区侧	2.28	0.41
	非保护区侧	2.14	0.51
黄鼬	红松阔叶林	2.41	0.45
	白桦次生林	1.88	0.35

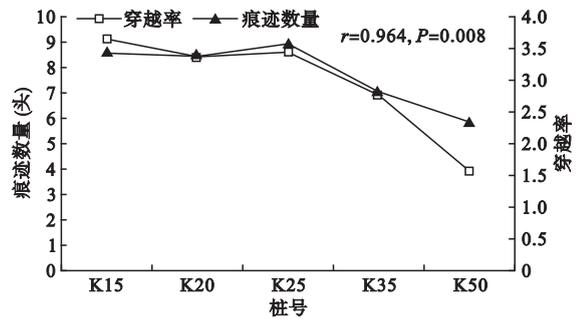


图 1 路域 50 m 范围内兽类痕迹数量与穿越率的关系
Fig.1 Relationship between the number of mammals sign within roadside 50 m range and rate of crossing highway

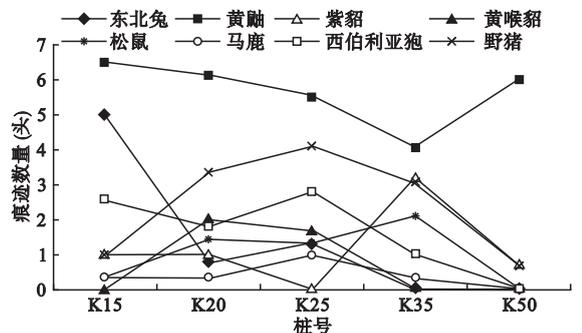


图 2 路域 50 m 范围内不同兽类痕迹数量分布
Fig.2 Number of different mammals sign within roadside 50 m range

表2 公路两侧及两种植被类型下兽类种类及痕迹数量的差异性
Table 2 Difference of species richness and the number of middle and large sized mammals sign between two sides of road and two forest types

	因子	自由度	均方	F	p
兽类痕迹数量	截距	1	1596.156	65.342	0.000
	样线号	16	18.461	0.756	0.735
	方位	1	39.639	1.623	0.204
	植被类型	1	601.076	24.606	0.000
	方位×植被类型	1	6.333	0.259	0.611
雪季	截距	1	1431.002	86.549	0.000
	样线号	16	18.656	1.128	0.330
	方位	1	116.654	7.055	0.008
	植被类型	1	224.822	13.597	0.000
	方位×植被类型	1	45.395	2.746	0.099
非雪季	截距	1	656.621	15.304	0.000
	样线号	9	12.300	0.287	0.977
	方位	1	3.299	0.077	0.782
	植被类型	1	262.015	6.107	0.015
	方位×植被类型	1	3.308	0.077	0.782
兽类种类	截距	1	194.745	181.095	0.000
	样线号	16	3.646	3.390	0.000
	方位	1	7.831	7.282	0.007
	植被类型	1	24.711	22.979	0.000
	方位×植被类型	1	0.001	0.000	0.983
雪季	截距	1	279.404	227.681	0.000
	样线号	16	3.589	2.924	0.000
	方位	1	5.948	4.847	0.029
	植被类型	1	21.795	17.760	0.000
	方位×植被类型	1	0.127	0.104	0.748
非雪季	截距	1	38.788	63.078	0.000
	样线号	9	1.209	1.966	0.051
	方位	1	0.183	0.297	0.587
	植被类型	1	4.585	7.457	0.007
	方位×植被类型	1	0.657	1.069	0.304
野猪	截距	1	261.743	19.825	0.000
	样线号	9	7.099	0.538	0.845
	方位	1	0.060	0.005	0.946
	植被类型	1	35.366	2.679	0.104
	方位×植被类型	1	0.444	0.034	0.855
雪季	截距	1	67.656	13.684	0.000
	样线号	8	2.355	0.476	0.868
	方位	1	6.357	1.286	0.261
	植被类型	1	1.183	0.239	0.626
	方位×植被类型	1	6.357	1.286	0.261
非雪季	截距	1	307.324	15.878	0.000
	样线号	5	34.415	1.778	0.128
	方位	1	7.064	0.365	0.548
	植被类型	1	86.105	4.449	0.038
	方位×植被类型	1	3.753	0.670	0.415
西伯利亚豹	截距	1	78.084	13.932	0.000
	样线号	14	2.517	0.449	0.955
	方位	1	0.508	0.091	0.764
	植被类型	1	4.875	0.870	0.353
	方位×植被类型	1	3.753	0.670	0.415
雪季	截距	1	52.959	7.240	0.009

续表2
Table 2 Continued

	因子	自由度	均方	F	p
非雪季	样线号	13	4.061	0.555	0.881
	方位	1	10.057	1.375	0.245
	植被类型	1	2.005	0.274	0.602
	方位×植被类型	1	23.778	3.251	0.076
	截距	1	66.344	27.384	0.000
黄鼬	样线号	7	4.163	1.718	0.126
	方位	1	7.304	3.015	0.089
	植被类型	1	13.003	5.367	0.025
	截距	1	40.266	33.039	0.000
	样线号	16	1.074	0.881	0.592
松鼠	方位	1	0.614	0.503	0.479
	植被类型	1	4.896	4.017	0.047
	方位×植被类型	1	0.140	0.115	0.735
	截距	1	29.486	21.125	0.000
	样线号	13	0.426	0.305	0.990
紫貂	方位	1	0.303	0.217	0.642
	植被类型	1	0.491	0.352	0.554
	方位×植被类型	1	3.221	2.308	0.132
	截距	1	6.612	2.955	0.091
	样线号	6	1.595	0.713	0.641
狗獾	方位	1	0.299	0.134	0.716
	植被类型	1	3.350	1.497	0.226
	方位×植被类型	1	1.704	0.761	0.386
	截距	1	25.345	9.568	0.003
	样线号	4	2.572	0.971	0.430
东北兔	方位	1	0.640	0.242	0.625
	植被类型	1	0.010	0.004	0.950
	截距	1	1.460	0.852	0.364
	样线号	9	2.251	1.314	0.277
	方位	1	0.012	0.007	0.935
黄喉貂	植被类型	1	0.223	0.130	0.721
	截距	1	13.179	3.632	0.083
	样线号	6	0.800	0.220	0.962
	方位	1	0.055	0.015	0.904
	植被类型	1	2.203	0.607	0.452

年度兽类穿越率呈下降趋势,两者呈负相关关系,但不显著($P>0.05$) (图3)。

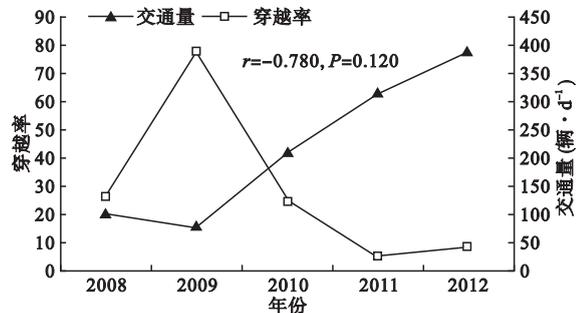


图3 穿越率与交通量的关系
Fig.3 Relationship between rate of crossing highway and daily traffic volume

3 讨论

本研究发现,有 12 种中大型兽类在路域 500 m 范围内活动,其中国家级保护物种有 5 种。公路路域栖息地的重要性已经被许多研究所证实,路域环境已经成为野生动物的生活史中完全或部分的重要栖息地(Huijser *et al.*, 2006)。澳洲新南威尔士州道路路域保护区占到国家公园面积的 80% (Bennett, 1991)。由于公路周边景观破碎化和食物资源的缺乏,导致路域成为物种最后的栖息地(Madsen *et al.*, 2002)。路域小气候(光照、温度、湿度等)不同于森林内部,导致植被在春季生长早于森林内部,而在秋季,植被水分和果实相对更丰富,吸引了狍、白尾鹿、黑熊等物种的活动(Wells *et al.*, 1999; Kinley *et al.*, 2003)。路域还可能成为重要栖息地斑块之间的通道(Brunzell *et al.*, 2004)。

本研究显示,公路两侧中大型兽类种类有显著差异,雪季时兽类种类和痕迹数量均有显著性差异。因此,公路对中大型兽类的阻隔效应已经显现。道路对野生动物的阻隔效应与交通量密切相关。当交通量低于 2500 辆·d⁻¹时,阻隔效应不显著(Clevenger *et al.*, 2011)。环长白山旅游公路于 2009 年 10 月正式通车,2010 和 2011 年监测显示高峰期交通量低于 1000 辆·d⁻¹(7、8 月),尽管交通量不大,但阻隔效应明显,因此本研究结果也从侧面证实仅通过交通量无法解释道路的阻隔效应。本研究发现,雪季(交通量小于 400 辆·d⁻¹),道路两侧兽类种类和痕迹数量有显著差异,本研究认为可能有两个方面原因,第一,冬季长白山降雪量很大,环长白山旅游公路为交通主干道,为连接长白山机场、北坡、西坡与南坡的重要大通道。为了保通,地方交通管理部门经常除雪,导致路两侧形成雪墙,高度甚至达到 1.5 m,这导致两侧动物移动困难,可能是公路两侧兽类种类和痕迹数量差异显著的一个重要原因。本研究中,野猪、西伯利亚狍的痕迹数量在自然保护区侧要大于非保护区侧。研究显示,道路两侧雪墙会阻隔有蹄类动物的移动(Rea *et al.*, 2010)。第二,在冬季,道路非保护区侧(多分布白桦次生林)在调查期间经常有采伐活动,极大影响了野生动物的活动,我们多次现场调查不得不终止,即使继续调查,动物痕迹也很少。本研究中,黄鼬、紫貂和黄喉貂的痕迹数量在非保护区侧就少于自然保护区侧。黑龙江的公路建设导致路侧发生大量的捕杀野猪、西伯利亚狍、

马鹿等有蹄类的事件(周绍春, 2011)。因此,我们认为,公路开通进入森林内部,其间接影响往往很大,甚至会超过直接的影响(Noss *et al.*, 1996)。

在长白山区,红松阔叶林是野生动物的最适宜栖息地(陈霞等, 2010)。红松阔叶林内野生动物穿越公路的种类和频次显著多于白桦次生林路段(王云等, 2013)。本研究支持了这个结论,无论是兽类种类还是痕迹数量都是红松阔叶林显著多于白桦次生林。与长白山保护区邻近的黄泥河保护区的研究发现野猪冬季偏好食物丰富度高、隐蔽度强、距离人为干扰超过 2 km 的阔叶林和针阔混交林内(朱洪强等, 2011),西伯利亚狍偏好食物丰富度高、灌丛盖度和隐蔽度都较高的针阔混交林生境,对倒木表现出明显的选择性(葛志勇等, 2012)。在黑龙江凉水保护区发现西伯利亚狍冬季偏好针阔混交林且人为干扰距离大于 1 km 的生境(滕丽微等, 2010)。紫貂喜好成熟林地和老龄林地,选择食物丰富度高的地区(张洪海等, 2000)。本路沿线红松阔叶林内食物丰富度明显更多,如红松、蒙古栎的果实是许多兽类和鸟类的极佳食物来源(朴龙国等, 2013),另外,白桦次生林内由于是非保护区范围,人为频繁干扰一直存在,如雪季的伐木,非雪季的人为捕捉林蛙、采集野菜等。因此,红松阔叶林内中大型兽类的种类和痕迹数量都显著多于白桦次生林内。

本研究显示,马鹿数量非常低,每年见到 2~3 个小群在路域活动,并随着雪量向低海拔地段迁移。在整个路段,雪季马鹿穿越公路累计 13 次,主要出现在 K25~K27 之间,偶尔穿越公路的主要原因是因为在公路上舔食盐分,大多数是仅在路侧舔食盐分而不上道。由此可见,公路对马鹿产生了较大的阻隔作用。

尽管环长白山旅游公路刚刚通车,交通量相对较小,但公路对兽类的阻隔作用已经显现。同时,本路产生的间接影响很大,如雪季的除雪产生的雪墙及非保护区侧白桦次生林内强烈人为干扰,综合导致了公路廊道阻隔作用显著。另外,已经产生的大量两栖类、爬行类和鸟类死亡,对部分动物种群的影响可能很大,尤其对一些濒危物种来说(王云等, 2013; Wang *et al.*, 2013; 罗玉梅等, 2015)。随着时间推移,道路对野生动物种群的 4 种生态影响(栖息地损失、栖息地质量下降、野生动物致死率升高和景观连接度降低)和累积效应具有时滞性(Forman *et al.*, 2003)。本研究显示,随着时间推移(2008—

2012年),交通量逐年升高,而野生动物穿越公路成功率在下降,即景观连接度在下降,说明本路阻隔作用有随着时间推移加强的趋势。

本研究仅从中大型兽类总体角度初步探讨公路两侧的阻隔问题,下一步将选择具体种类,借助国际主流监测技术(如佩戴GPS项圈),通过个体在路域移动路线与穿越公路的关系来进一步探讨公路的阻隔效应。

当前,我国自然保护区一般分为核心区、缓冲区和实验区,公路建设必须避开核心区和缓冲区,很多情况下不得不穿越实验区,因此,很多公路或者成为自然保护区的边界或者进入保护区内部的实验区,前者的情况下,公路一侧为自然保护区侧,另外一侧为非保护区侧,非保护区侧森林砍伐、下套捕猎等人为干扰活动分布广、强度大,本研究区即为该种情况,本研究实际上为这种管理模式敲响了警钟。从保护兽类安全穿越公路、栖息地连通性的角度出发,除了交通部门建设不同类型的野生动物通道之外,建议非自然保护区侧也要加强生境保护,基于野生动物迁移廊道保护的角度出发,划定自然保护区之间的走廊带,严格控制人为干扰,为防止由于道路建设等人为干扰引起的栖息地破碎化提供有效的保障。在这方面,欧美有很好的经验值得我国参考和学习。

参考文献

陈霞,王绍先,王振国. 2010. 长白山保护开发区生物多样性保护、可持续发展. 长春: 吉林科技出版社.

葛志勇,朱洪强,毛之夏,等. 2012. 黄泥河自然保护区豹冬季栖息地选择. 生态学杂志, **31**(4): 943-948.

龚明昊,侯盟,蔺琛,等. 2012. 基于野外痕迹点和GIS技术定量评估步道对大熊猫活动的影响. 生物多样性, **20**(4): 420-426.

罗玉梅,王卓聪,王超,等. 2015. 长白山路域两栖类动物损失调查及保护. 北华大学学报: 自然科学版, **16**(1): 108-112.

毛文碧,段昌群. 2009. 公路路域生态学. 北京: 人民交通出版社.

朴龙国,王绍先,朴正吉. 2013. 长白山兽类. 长春: 吉林科学技术出版社.

朴正吉,金永焕,李善龙,等. 2012a. 长白山自然保护区兽类交通致死的初步分析. 兽类学报, **32**(2): 124-129.

朴正吉,朴龙国,王卓聪,等. 2012b. 长白山自然保护区黑熊和棕熊种群数量动态分析. 动物学杂志, **47**(3): 66-72.

裘丽,冯祥建. 2004. 青藏公路沿线白昼交通运输等人类活动对藏羚羊迁徙的影响. 动物学报, **50**(4): 669-674.

滕丽微,王磊,马建章,等. 2010. 凉水国家级自然保护区豹冬季对微生境的选择. 东北林业大学学报, **38**(8): 95-98.

王云,朴正吉,关磊,等. 2013. 环长白山旅游公路对野生动物的影响. 生态学杂志, **32**(2): 425-435.

夏霖,杨奇森,李增超,等. 2005. 交通设施对可可西里藏羚羊季节性迁移的影响. 四川动物, **24**(2): 147-151.

殷宝法,于志勇,杨生妹,等. 2007. 青藏公路对藏羚羊、藏原羚和藏野驴活动的影响. 生态学杂志, **26**(6): 810-816.

张洪海,马建章. 2000. 紫貂春季和夏季生境选择的初步研究. 动物学报, **46**(4): 399-466.

周绍春. 2011. 东北虎及其猎物的种群大小、生境选择与评价研究(博士学位论文). 哈尔滨: 东北林业大学.

朱洪强,葛志勇,常素慧,等. 2011. 黄泥河自然保护区野猪冬季栖息地利用. 生态学杂志, **30**(4): 734-738.

Baker RH. 1998. Are man-made barriers influencing mammalian speciations? *Journal of Mammalogy*, **79**: 370-371.

Bennett AF. 1991. Roads, roadsides and wildlife conservation: A review// Saunders DA, Hobbs RJ, eds. *Nature Conservation 2: The Role of Corridors*, Chipping Norton. Australia: Surrey Beatty: 99-108.

Brunzell S, Ellingsen H, Frankl R. 2004. Distribution of the Cinabar moth *Tyria jacobaeae* L. at landscape scale: Use of linear landscape structures in egg laying on larval hostplant exposures. *Landscape Ecology*, **19**: 21-27.

Clevenger AP, Huijser MP. 2011. *Wildlife crossing structure Handbook: Design and Evaluation in North America*. Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-CFL/TD-11-003. http://flh.fhwa.dot.gov/innovation/td/wildlife/documents/02_Title_Forward_TOC.pdf (2015-12-15).

Forman RTT, Alexander LE. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **29**: 207-231.

Forman RTT, Sperling D, Bissonette JA, et al. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Washington DC: Island Press.

Huijser M, Clevenger AP. 2006. Habitat and corridor function of rights-of-way// Davenport J, Davenport JL, eds. *The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment*. New York: Springer: 233-254.

Kinley TA, Page HN, Newhouse NJ. 2003. Use of infrared camera video footage from a wildlife protection system to assess collision-risk behavior by deer in Kootenay National Park, British Columbia. Sylvan Consulting Ltd, Invermere, BC, Canada.

Madsen AB, Strandgaard H, Prang A. 2002. Factors causing traffic killings of roe deer *Capreolus capreolus* in Denmark. *Wildlife Biology*, **8**: 55-61.

Noss RF, Quigley HB, Hornocker MG, et al. 1996. Conservation biology and carnivore conservation in the Rocky Mountains. *Conservation Biology*, **10**: 949-963.

Pan WJ, Lin L, Luo AD, et al. 2009. Corridor use by Asia Elephants. *Integrative Zoology*, **4**: 220-231.

Rea RV, Child KN, Aitken DA. 2010. Youtube (TM) insights into moose-train interactions. *Alces*, **46**: 183-187.

Rhim SJ, Hur WH, Park YS, et al. 2003. Differences in mammal's abundance in different distance areas from road. *Acta Theriologica Sinica*, **23**: 193-197.

Spellerberg IF. 2002. *Ecological Effects of Roads*. Enfield: Science Publishers.

Wang Y, Piao ZJ, Guan L, et al. 2013. Road mortalities of vertebrate species on Ring Changbai Mountain Scenic Highway, Jilin Province, China. *North-Western Journal of Zoology*, **9**: 399-409.

Wells P, Woods JG, Bridgewater G, et al. 1999. *Wildlife mortalities on railways: Monitoring methods and mitigation strategies*// Evink GL, Garrett P, Zeigler D, eds. *Proceedings of the Third International Conference on Wildlife Ecology and Transportation*. Tallahassee, FL: Department of Transportation: 85-88.

作者简介 王云,男,1980年生,主要从事道路生态学研究。E-mail: wangyun80314@163.com

责任编辑 魏中青