

青藏铁路温性草原区铁路运营对啮齿动物群落结构的影响

杨生妹¹ 淮虎银¹ 张镔铨² 殷宝法¹ 周 乐¹ 魏万红¹

(1 扬州大学生物科学与技术学院, 扬州, 225009) (2 中国科学院地理环境与资源研究所, 北京, 100101)

摘要: 以青藏铁路海晏段的温性草原区为研究地点, 通过铁日法确定距离铁路不同距离的区域中啮齿动物的种群密度和群落结构, 分析啮齿动物群落结构与植物群落结构之间的关系, 探讨温性草原区铁路运营对啮齿动物群落结构的影响。结果表明, 研究区域内所捕获的啮齿动物有甘肃鼠兔、五趾跳鼠、长尾仓鼠和灰仓鼠; 从1984年铁路投入运营以来, 没有发现铁路运营带来新物种的入侵; 啮齿动物的种群密度和群落结构在距离铁路不同距离的样带之间有明显的不同, 在铁路路基附近的种群密度、物种数、多样性指数均明显高于距离铁路0.5 km和1 km的区域, 而均匀性指数在路基附近最小; 在距离铁路不同距离的区域中植物群落的特征没有明显差异, 啮齿动物群落特征与植物群落特征之间没有明显的相关性。引起铁路路基附近啮齿动物种群密度、物种数、多样性指数偏高的原因可能是铁路修建与运营为啮齿动物提供了合适的生存环境与额外的食物资源。因此, 铁路建设及运营对啮齿动物的群落结构有一定程度的影响。

关键词: 青藏铁路; 啮齿动物; 群落结构

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050 (2006) 03-0267-07

Effects of railway traffic on the community structure of rodents in warm steppe along the Qinghai-Tibet Railway

YANG Shengmei¹, HUAI Huyin¹, ZHANG Yili², YIN Baofa¹, ZHOU Le¹, WEI Wanhong¹

(1 College of Bioscience and Biotechnology, Yangzhou University, Yangzhou, 225009, China)

(2 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China)

Abstract: The research was carried out in warm steppe along the Qinghai-Tibet Railway near Haiyan in Qinghai Province. The population density and community structure of rodents were determined by daily trapping at different distances from the railway, the relationship between the rodent community characteristics and the plants was analyzed, and the effect of traffic of the Qinghai-Tibet Railway on the community structure of rodents was discussed. *Ochotona cansus*, *Allactaga sibirica*, *Cricetulus longicaudatus* and *Cricetulus migratorius* all were captured in the research area. There were no exotic species encountered in research area from the beginning of the Railway activity in 1984 to now. The population density, number of species, and diversity index of rodents near the Railway were significantly higher than those in places 0.5 km and 1 km away from the Railway, but the evenness index of the rodents was lowest near the Railway. The community characteristics of the plants were the same at different distances from the Railway. A relationship between the community characteristics of the rodents and plants was not found. The activity of the Qinghai-Tibet Railway did not result in exotic species in the research area and suitable habitat and excessive food supplied by train travelers may have been factors causing the increase in population density and the changes in community structure of the rodents near the Railway. Thus, the construction and activity of the Railway affects the community structure of rodents in the research area.

Key words: Community structure; Qinghai-Tibet Railway; Rodents

道路在人类的各种活动中发挥着巨大的作用, 也对人类赖以生存的环境中的许多生态过程产生直接或间接的影响 (Lugo and Gucinski, 2000; Han-

ley *et al.*, 2005)。许多研究表明, 道路对其周围区域昆虫类 (Forys *et al.*, 2002; Bhattacharya *et al.*, 2003; Saarinen *et al.*, 2005)、两栖类 (Hels

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (90202012)

作者简介: 杨生妹 (1964-), 女, 副教授, 博士, 主要从事动物学研究. Yang_sm@hotmail.com

收稿日期: 2005-12-07; 修回日期: 2006-04-12

and Buchwald, 2001)、鸟类 (Reijnen *et al.*, 1996; Gutzwiller and Barrow, 2003) 及哺乳类 (Huijser and Bergers, 2000; Kaczensky *et al.*, 2003) 等多种动物的种群密度和群落结构都会产生一定程度的影响 (Forman and Alexander, 1998), 这些影响主要表现在建设及运营过程直接造成动物死亡、稀有或濒危物种灭绝 (Van Der Grift, 1999)、动物栖息地破碎化 (Reed *et al.*, 1996) 或栖息地环境改变 (Clevenger *et al.*, 2001); 影响动物行为、繁殖、生理状态等, 并使动物产生对道路的躲避反应 (Trombulak and Frisessel, 2000); 造成外来物种的入侵, 使其在该区域迅速传播并导致本地物种的灭绝 (Forys *et al.*, 2002; 黎唯等, 1994)。Forman 和 Deblinger (2000) 指出, 未来跨地区运输系统应该在确保安全和高效的前提下, 保证环境中的生态流和生物密度。因此, 如何协调好道路建设与生物多样性和环境保护之间的关系是管理者面临的一大挑战 (Wilkie *et al.*, 2000)。

青藏高原具有独特的地理和气候条件, 它不仅是我国乃至世界的气候调节器, 也是世界山地生物物种一个重要的源和分化中心 (赵魁义, 1994; 钟大赉和丁, 1996)。因此, 青藏铁路的修建备受世人关注。有关青藏铁路对生态环境效应的研究已有许多报道 (王美芝等, 2002; 张玉清, 2002; 孙士云, 2003; 王根绪等, 2005; 淮虎银等, 2005), 但尚未涉及对野生动物影响方面的研究。本研究以青藏铁路海晏段的温性草原区作为研究地点, 分析距离铁路不同距离的调查样区内啮齿动物的种群密度和群落结构, 验证铁路建设及运营影响啮齿动物群落结构的假说, 探讨铁路修建及运营对其产生的生态效应。

1 研究地区自然概况

青藏铁路西宁至格尔木段于 1979 年修建完工, 1984 年投入运营。青藏铁路穿越了不同植被区, 其中温性草原区是青藏铁路进入海拔 3 000 m 以上区域所穿越的第 1 个地带性植被类型。本研究的地点位于青藏高原东北部、青海省北部海晏县城东南青藏铁路两侧的温性草原区 (36°52′~36°53′N, 100°59′~101°00′E), 该地区年平均温度为 0.1℃, 极端最高温为 25.5℃, 极端最低温为 -31.7℃, 平均日温差为 16.2℃, 平均无霜期为 43 d, 年平均降雨量为 366.4 mm, 属典型大陆性中纬度高海拔

寒冷半干旱性气候。该地区的地带性植被是以芨芨草 (*Achnatherum splendens*) 和短花针茅 (*Stipa brevifolia*) 为优势种的温性草原; 所对应的土壤类型主要为栗钙土和棕钙土; 可能分布的啮齿动物有甘肃鼠兔 (*Ochotona cansus*)、五趾跳鼠 (*Allactaga sibirica*)、长尾仓鼠 (*Cricetulus longicaudatus*) 和灰仓鼠 (*Cricetulus migratorius*) 等 (中国科学院西北高原生物研究所, 1989)。

2 研究方法

2003 年 7~8 月在青海省海晏县城东南青藏铁路两侧选设 3 条样带, 采用铗日法确定啮齿动物的种群数量和群落结构。相邻样带间的距离为 500 m。在每个样带内, 以铁路为基点, 分别在基点、沿其垂直距离 0.5 km 和 1 km 处设置 3 个调查样区, 在每个调查样区内, 与铁路平行方向设置 5 个小样方, 每个小样方之间相距 20 m 以上, 每个小样方的面积为 0.25 hm²。调查时以瓜子为诱饵, 每个小样方内放置 100 个铗日, 铗间距 5 m, 3 条样带共置 4 500 个铗日。同时, 在每一样带内采用植物群落常规取样方法进行植物群落特征调查。在每个样带的 3 个调查样区内分别随机设置 5 个面积为 1 m × 1 m 的小样方, 记录小样方内植物的种类、每种植物的高度、分盖度, 并收集 0.25 m² 面积内每种植物的地上部分, 将其带回室内在 80℃ 条件下烘干至恒重, 以其计算生物量 (g/0.25 m²)。啮齿动物的种群密度以铗捕率表示, 即 0.25 hm² 样方内 100 个铗日所捕获动物的只数 (只/100 铗日/0.25 hm²), 啮齿动物群落和植物群落的多样性指数 *H* 和均匀性指数 *J* 均分别采用 Hafner (1977) 及 Pielou (1966) 的方法计算, 即:

$$H = \sum_{i=1}^s p_i \log_{10}(p_i) \quad J = H / \log_{10}(S)$$

其中: *S* 为物种数, *p* 为第 *i* 个物种个体数占群落中物种个体总数的比例。

在进行数据分析时将其全部数据进行 arcsin 平方根转换, 采用双因素方差分析法 (Two-way ANOVA) 对不同样带及调查样区内啮齿动物种群密度及其群落特征进行比较, 采用单因素方差分析法 (One-way ANOVA) 对不同调查样区内植物群落特征进行分析, 通过相关性分析确定啮齿动物群落特征与植物群落特征的相互关系。分析中差异显著性水平为 0.05。

3 研究结果

3.1 啮齿动物的种群密度

调查结果表明，研究地区铁路两侧分布的啮齿动物有甘肃鼠兔、五趾跳鼠、长尾仓鼠和灰仓鼠。由于 2002 年青海省在全省范围内开展大规模的灭鼠活动，因此研究区域内鼠类的种群密度相对较低，调查期间 3 个样带内共捕获甘肃鼠兔 18 只，五趾跳鼠 14 只，长尾仓鼠 66 只，灰仓鼠 38 只。在不同样带和同一样带内的不同调查样区中 4 种啮齿动物的种群密度如表 1 所示，方差分析结果表明，所有鼠类的种群密度在样带之间无明显的差异，而在调查样区（距离铁路不同距离的区域）之间表现出一定的规律性（表 2）。啮齿动物种群

密度在铁路路基附近的调查样区中最大，而在距离铁路 0.5 km 处和 1 km 处的调查样区中明显降低。不同种类的啮齿动物，其种群密度在距铁路不同距离的调查样区中也表现不同的变化趋势，甘肃鼠兔、五趾跳鼠和灰仓鼠在 3 个调查样区中的种群数量没有显著变化，而长尾仓鼠的种群密度在铁路路基调查样区最高，与其余两个调查样区之间存在极显著差异。由此可见，距离铁路的距离（即与铁路的垂直距离梯度）在某种程度上可能是引起啮齿动物种群密度变化的主要原因，但对不同种类的啮齿动物来说，这种影响的生态效应是不同的。

表 1 啮齿动物的种群密度（缺捕率）及群落结构

Table 1 Population density (capture ratio) and community structure of the rodents

物种 Species	样带 1 Transect 1			样地 2 Transect 2			样地 3 Transect 3		
	0 km	0.5 km	1 km	0 km	0.5 km	1 km	0 km	0.5 km	1 km
甘肃鼠兔 <i>Ochotona cansus</i>	0.8(15.3)	0.4(25.0)	0.0(0.0)	0.4(8.3)	0.4(20.0)	0.4(14.3)	0.8(14.3)	0.4(16.7)	0.0(0.0)
五趾跳鼠 <i>Allactaga sibirica</i>	0.4(7.7)	0.4(25.0)	0.4(25.0)	0.4(8.3)	0.0(0.0)	0.8(28.6)	0.4(7.1)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
长尾仓鼠 <i>Cricetulus longicaudatus</i>	2.0(38.5)	0.0(0.0)	0.8(50.0)	2.8(58.3)	1.2(60.0)	1.2(42.9)	3.6(64.3)	0.8(33.3)	0.8(66.7)
灰仓鼠 <i>Cricetulus migratorius</i>	2.0(38.5)	0.8(50.0)	0.4(25.0)	1.2(25.0)	0.4(20.0)	0.4(14.3)	0.8(14.3)	1.2(50.0)	0.4(33.3)
合计 Total	5.2(100.0)	1.6(100)	1.6(100)	4.8(100)	2.0(100)	2.8(100)	5.6(100)	2.4(100)	1.2(100)

表 2 啮齿动物种群密度的双因素方差分析

Table 2 Two-way ANOVA of population density of the rodents

物种	方差来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
甘肃鼠兔 <i>Ochotona cansus</i>	A	12.940	2	6.470	1.039	0.364
	B	0.580	2	0.249	0.040	0.961
	A × B	7.216	4	1.804	0.290	0.883
	C	224.172	36	6.227		
五趾跳鼠 <i>Allactaga sibirica</i>	A	5.856	2	2.928	0.615	0.546
	B	5.856	2	2.928	0.615	0.546
	A × B	11.712	4	2.928	0.615	0.654
	C	171.288	36	4.758		
长尾仓鼠 <i>Cricetulus longicaudatus</i>	A	186.094	2	93.047	9.968	0.000*
	B	21.174	2	10.587	1.134	0.333
	A × B	28.872	4	7.218	0.550	0.550
	C	336.024	36	9.334		
灰仓鼠 <i>Cricetulus migratorius</i>	A	46.122	2	23.061	2.587	0.089
	B	7.330	2	3.665	0.411	0.666
	A × B	19.080	4	4.770	0.535	0.711
	C	320.940	36	8.915		
合计 Total	A	181.810	2	90.905	8.504	0.001*
	B	0.408	2	0.204	0.019	0.981
	A × B	34.524	4	8.631	0.807	0.529
	C	384.840	36	10.690		

A：距铁路不同距离；B：样带；A × B：交互作用；C：残差；* $P < 0.05$

A：The distance to the railway；B：Transects；A × B：Interaction；C：Error

3.2 啮齿动物的群落结构

在 3 个样带的不同调查样区内，啮齿动物的物种数、多样性指数和均匀性指数如表 3 所示。双因素方差分析结果表明（表 4），啮齿动物的物种数、多样性指数和均匀性指数在样带之间没有明显的差异，而在距离铁路不同距离的调查样区之间有明显的不同，铁路路基附近啮齿动物的物种数量和多样性指数均明显高于距离铁路 0.5 km 处和 1 km 处的调查样区，而均匀性指数在铁路路基附近最小。它们在样带与距离铁路的距离之间也无明显的交互作用。

表 3 啮齿动物群落特征的比较
Table 3 The comparison of the community characters of the rodents

	样带 1 Transect 1			样带 2 Transect 2			样带 3 Transect 3		
	0 km	0.5 km	1 km	0 km	0.5 km	1 km	0 km	0.5 km	1 km
物种数 No. of species	4	3	3	4	3	4	4	3	2
多样性指数 Diversity index	0.530	0.452	0.452	0.467	0.413	0.555	0.446	0.439	0.276
均匀性指数 Evenness index	0.880	0.946	0.946	0.775	0.865	0.921	0.742	0.921	0.918

表 4 啮齿动物群落特征的双因素方差分析
Table 4 Two-way ANOVA of the community characters of the rodents

群落特征 Community character	方差来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
物种数 No. of species	A	12.134	2	6.067	11.375	0.000*
	B	0.534	2	0.267	0.500	0.611
	A × B	1.332	4	0.333	0.625	0.648
	C	19.188	36	0.533		
多样性指数 Diversity index	A	0.492	2	0.246	16.198	0.000*
	B	0.062	2	0.031	2.039	0.145
	A × B	0.032	4	0.008	0.512	0.727
	C	0.540	36	0.015		
均匀性指数 Evenness index	A	3.868	2	1.934	15.671	0.000*
	B	0.678	2	0.339	2.746	0.078
	A × B	0.348	4	0.087	0.705	0.594
	C	4.428	36	0.123		

A：距铁路不同距离；B：样带；A × B：交互作用；C：残差；*：P < 0.05
A：The distance to the railway；B：Transects；A × B：Interaction；C：Error

3.3 啮齿动物群落与植物群落的相关关系

通过对 3 个样带中不同调查样区的植被调查表明，研究区域内主要分布着芨芨草 - 短花针茅群落，群落内常常形成两类相间排列的斑块，即芨芨草斑块和短花针茅斑块。芨芨草斑块中群落盖度高、植物密度大，而短花针茅斑块中群落盖度较低、植物密度也较小。主要伴生植物有银灰旋花（*Convolvulus ammannii*）、唐古特韭（*Allium tanguticum*）、异叶青兰（*Dracocephalum heterophyllum*）、猪毛菜（*Salsola* sp.）、黄芪（*Astragalus* sp.）、藜（*Chenopodium* sp.）、冷蒿（*Artemisia* sp.）等。在距离铁路不同距离的调查样区中，植物群落内植物的种类数、群落内优势种的平均高度、群落总盖度、植物地上部分总生物量、多样性指数和均匀性指数如表 5 所示。单因素方差分析表明（表 6），以上参数在距离铁路不同距离的调查样区之间没有明显的不同，说明研究地区内植物群落特征在整个取样区域是一致的。

将啮齿动物群落的特征参数物种数、多样性指数、均匀性指数分别与植物群落的特征参数物种数、群落内优势种的平均高度、群落总盖度、植物地上部分总生物量、多样性指数和均匀性指数逐一进行相关性分析，结果表明，在啮齿动物的群落特征参数与植物群落的特征参数之间均无明显的相关性（P > 0.05），说明在研究区域内植物群落特征对啮齿动物种群密度和群落结构无显著影响。

表 5 植物群落特征

Table 5 Community characters of the plants

距离铁路距离 Distance to the railway	种数 No. of species	高度 Height (cm)	盖度 Coverage (%)	地上部分生物量 Biomass for aboveground plant (g)	多样性指数 Diversity index	均匀性指数 Evenness index
0 km	8	52	36.4	5.796	0.464	0.505
0.5 km	8	70.8	32.9	4.476	0.489	0.547
1 km	9	47.2	45.9	7.476	0.469	0.481

表 6 植物群落特征的单因素方差分析

Table 6 One-way ANOVA of community characters of the plants

群落特征 Community characters	方差来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
物种数 No. of species	A	0.534	2	0.267	0.066	0.936
	C	48.396	12	4.033		
高度 Height	A	1555.734	2	777.867	0.819	0.464
	C	11393.067	12	949.467		
盖度 Coverage	A	452.500	2	226.250	0.621	0.554
	C	4375.596	12	364.633		
生物量 Biomass	A	22.608	2	11.304	0.955	0.412
	C	141.984	12	11.832		
多样性指数 Diversity index	A	0.002	2	0.001	0.017	0.983
	C	0.612	12	0.051		
均匀性指数 Evenness index	A	0.012	2	0.006	0.086	0.918
	C	0.782	12	0.065		

A：距铁路不同距离；C：残差

A：The distance to the railway；C：Error

4 讨论

大部分青藏铁路沿线的植被生态系统类型主要以高寒植被生态系统为主（陈辉等，2003）。在草原植被中，温性草原是青藏铁路进入海拔3 000 m以上地区后所穿越的第一个地带性植被类型，因此，选择铁路沿线温性草原区开展铁路运营对啮齿动物群落结构影响的研究具有重要的意义。本项研究中不同样带及距离铁路不同距离的调查样区内植物群落特征基本一致，说明该区域在铁路建设过程中所破坏的植被经过20多年时间的自然演替后基本恢复到原始的植被状态，淮虎银等（2005）的研究结果也有相同的结论。道路对小哺乳动物的生态效应是一个比较复杂的过程，道路的类型、地理位置和自然环境条件的差异都会对小哺乳动物的种群数量和群落结构产生不同的作用（Adams and Geis, 1983; Alexander and Waters, 2000; Gutzwiller and Barrow, 2003）。Rhim等（2003）调查了在距离道路不同区域中10种哺乳类动物各种痕迹（粪便、足迹、食痕、卧迹及休息处）的数量分布，发现距道路近处两边的物种丰富度有较大程度

下降；Swihart和Slade（1984）的研究表明，橙腹田鼠（*Microtus ochrogaster*）在道路附近的数量明显减少，说明道路建设和运营影响了小哺乳类动物的生境选择及其利用方式。同时，道路的修建及运营过程也改变了土壤的理化性质，导致植物群落发生变化，而小哺乳动物的分布主要取决于栖息地的结构特征，趋向和植物群落模式相一致（边疆晖等，1994；Huntly and Inouye, 1987）。本项研究结果显示，啮齿动物群落特征各参数与植物群落特征各参数之间均无明显的相关性，说明在铁路路基附近啮齿动物的种群密度、物种数、多样性指数均高于距离铁路500 m处和1 000 m处调查样区的主要原因与植物群落无关。引起这种差异的原因可能有两个方面，一是铁路建设及运营改变了路域附近的微环境，在路基附近的地貌特征明显复杂于其它区域，人工堆放的砧木和石料也集中在路基附近，这为啮齿动物的栖息提供了合适的生存环境（Greenberg *et al.*, 1997; Stiles and Jones, 1998）；二是铁路在运营过程中人为产生的一些生活垃圾聚集在路基附近，可能为啮齿动物提供了更多的食物资源，而该方面的直接证据需做进一步的研究。

道路的建设与运营会对某些物种的种群产生分裂和隔离,减少局部的种群数量甚至导致局部种群的灭绝 (Saunders *et al.*, 1991)。同时,道路在运营过程中也可直接将一些物种带入新区域,形成生态入侵,如在新疆分布的褐家鼠 (*Rattus norvegicus*) 主要是通过铁路进入,随着铁路的不断延伸,其分布区逐渐扩大 (黎唯, 1994)。本项研究中,虽然 2002 年青海省在全省范围内开展的大规模灭鼠活动使研究区域内鼠类的种群密度相对较低,但是,在温性草原区中选定的 3 条样带、9 个调查样区、45 个样方、4 500 个铈日的调查应该反映了该区域啮齿动物的基本结构,调查结果显示,所捕获的 4 种啮齿动物都是青藏高原常见的哺乳动物种类 (中国科学院西北高原生物研究所, 1989),在取样过程中没有发现外来啮齿动物的分布,说明研究区域内铁路的运营没有引起外来物种的入侵或本地物种的消亡。虽然在铁路的修筑和运营过程中,取土等人为活动往往会为外来物种的入侵创造条件,使外来物种的入侵机会增加 (Adams and Geis, 1983),但青藏高原独特的地理和气候条件有可能使许多其它生境中的动物种类很难在短期内适应、成功地定居下来,并以很快的速度蔓延。

参考文献:

- Adams L W, Geis A D. 1983. Effects of roads on small mammals. *Journal of Applied Ecology*, **20**: 403–415.
- Alexander S M, Waters N M. 2000. The effects of highway transportation corridors on wildlife: a case study of Banff National Park. *Transportation Research Part C*, **8**: 307–320.
- Bhattacharya M, Primack R B, Gerwein J. 2003. Are roads and railroads barriers to bumblebee movement in a temperate suburban conservation area? *Biological Conservation*, **109** (1): 37–45.
- Bian J H, Fan N C, Jing Z C, Shi Y Z. 1994. Studies on the successive relation between small mammal community and plant community in alpine meadow. *Acta Theriologica Sinica*, **14** (3): 209–216. (in Chinese)
- Chen H, Li S C, Zheng D. 2003. Features of ecosystems alongside Qinghai-Xizang highway and railway and the impacts of road construction on them. *Journal of Mountain Science*, **21** (5): 559–567. (in Chinese)
- Clevenger A P, Chruszcz B, Gunson K E. 2001. Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin*, **29** (2): 646–653.
- Forman R T, Alexander L E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecological Systems*, **29**: 207–230.
- Forman R T, Debtinger R D. 2000. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (U. S. A.) suburban highway. *Conservation Biology*, **14** (1): 36–46.
- Fors E A, Allen C R, Wojcik D P. 2002. Influence of the proximity and amount of human development and roads on the occurrence of the red imported fire ant in the lower Florida Keys. *Biological Conservation*, **108** (1): 27–31.
- Greenberg C H, Crownover S H, Gordon D R. 1997. Roadside soils: a corridor for invasion of xeric scrub by nonindigenous plants. *Natural Areas Journal*, **17**: 99–109.
- Gutzwiller K J, Barrow W C. 2003. Influences of roads and development on bird communities in protected Chihuahuan Desert landscapes. *Biological Conservation*, **113** (2): 225–237.
- Hafner M S. 1977. Density and diversity in Mojave Desert rodent shrub communities. *Journal of Animal Ecology*, **46**: 925–938.
- Hanley T A, Smith W P, Gende S M. 2005. Maintaining wildlife habitat in southeastern Alaska: implications of new knowledge for forest management and research. *Landscape and Urban Planning*, **72**: 113–133.
- Hels T, Buchwald E. 2001. The effect of road kills on amphibian populations. *Biological Conservation*, **99** (3): 331–340.
- Huai H Y, Wei W H, Zhang Y L. 2005. Community characteristics of warm steppe during its natural restoration along Qinghai-Xizang railway. *Journal of Mountain Science*, **23** (6): 657–662. (in Chinese)
- Huijser M P, Bergers P J. 2000. The effect of roads and traffic on hedgehog (*Erinaceus europaeus*) populations. *Biological Conservation*, **95** (1): 111–116.
- Huntly N, Inouye R S. 1987. Small mammal population of an old-field chronosequence, successional pattern and association with vegetation. *J Mamm*, **68**: 739–740.
- Kaczenskya P, Knauer F, Krze B, Jonozovic M, Adamic M, Gossow H. 2003. The impact of high speed, high volume traffic axes on brown bears in Slovenia. *Biological Conservation*, **111** (2): 191–204.
- Li W, Liao L F, Xie Y G. 1994. Study on the present of migration rodent-brown rat (*Rattus norvegicus*) in Xinjiang. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, **5** (2): 31–33. (in Chinese)
- Lugo A E, Gucinski H. 2000. Function, effects, and management of forest roads. *Forest Ecology and Management*, **133** (3): 249–262.
- Pielou E C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection. *Theoretical Biology*, **13**: 131–144.
- Reed R A, Johnson-Barnard J, Baker W L. 1996. Contribution of roads to forest fragmentation in the rocky mountains. *Conservation Biology*, **10** (4): 1098–1106.
- Reijnen R, Foppen R, Meeuwsen H. 1996. The effects of traffic on the density of breeding birds in dutch agricultural grasslands. *Biological Conservation*, **75** (3): 255–260.
- Rhim S J, Hur W H, Park Y S, Choi S Y, Lee C B, Piao R, Lee W S. 2003. Differences in mammal's abundance in different distance areas from road. *Acta Theriologica Sinica*, **23** (3): 193–197.
- Saarinan K, Valtonen A, Jantunen J, Saarnio S. 2005. Butterflies and diurnal moths along road verges: Does road type affect diversity

- and abundance? *Biological Conservation*, **123**: 403–412.
- Saunders D A, Hobbs R J, Margules C R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, **5**: 18–32.
- Stiles J H, Jones R H. 1998. Distribution of the red imported fire ant, *Solenopsis invicata*, in road and powerline habitats. *Landscape Ecology*, **335**: 335–346.
- Sun S Y. 2003. Characteristics of ecological environment and its protection along the Qinghai-Tibet railway. *Journal of Glaciology and Geocryology*, **25** (1): 182–185. (in Chinese)
- Swihart R K, Slade N A. 1984. Road crossing in *Sigmodon hispidus* and *Microtus ochrogaster*. *Journal of Mammalogy*, **65**: 357–360.
- Trombulak S C, Frissel C A. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, **14** (1): 18–30.
- Van Der Grift E A. 1999. Mammals and railroads: Impacts and management implications. *Lutra*, **42** (1): 77–98.
- Wang G X, Wu Q B, Wang Y B, Guo Z G. 2005. The impact of railroad engineering on the alpine grassland ecosystem in the Qinghai-Tibet plateau. *Science and Technology Review*, **1**: 8–13.
- Wang M Z, Xu Z Y, Yang C Y, Sun Z K. 2002. Effect of Qinghai-Tibet railway construction on plateau eco-environment. *Environmental Protection in Transportation*, **23** (3): 2–11. (in Chinese)
- Wilkie D, Shaw E, Rotberg F, Morelli G, Auzel P. 2000. Roads, development, and conservation in the Congo basin. *Conservation Biology*, **14** (6): 1614–1622.
- Zhang Y Q. 2002. Negative impact of Qinghai-Tibetan railway construction on ecological environment of Qinghai-Tibetan plateau. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, **22** (4): 50–53. (in Chinese)
- Zhao K Y. 1994. Florogeography of mire plants in southern part of Qinghai-Xizang plateau and its adjacent areas. *Scientia Geographica Sinica*, **14** (3): 217–225. (in Chinese)
- Zhong D L, Ting L. 1996. Rising process of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and its mechanism. *Science in China (Series D)*, **26**: 289–295. (in Chinese)
- 王根绪, 吴青柏, 王一博, 郭正刚. 2005. 青藏铁路工程对高寒草地生态系统的影响. 科技导报, **1**: 8–13.
- 王美芝, 许兆衣, 杨成永, 孙增奎. 2002. 青藏铁路工程对高原生态环境的影响. 交通环保, **23** (3): 2–11.
- 中国科学院西北高原生物研究所. 1989. 青海经济动物志. 西宁: 青海人民出版社.
- 边疆晖, 樊乃昌, 景增春, 施银柱. 1994. 高寒草甸地区小哺乳动物群落与植物群落演替关系的研究. 兽类学报, **14** (3): 209–216.
- 孙士云. 2003. 青藏铁路沿线的生态环境特点及保护对策. 冰川冻土, **25** (1): 182–185.
- 陈辉, 李双成, 郑度. 2003. 青藏公路铁路沿线生态系统特征及道路修建对其影响. 山地学报, **21** (5): 559–567.
- 张玉清. 2002. 青藏铁路建设对青藏高原生态环境的负面影响研究. 水土保持通报, **22** (4): 50–53.
- 赵魁义. 1994. 青藏高原南部及其比邻地区沼泽植物区系地理. 地理科学, **14** (3): 217–225.
- 钟大赉, 丁林. 1996. 青藏高原的隆起过程及机制探讨. 中国科学D 辑, **26**: 289–295.
- 淮虎银, 魏万红, 张镱锂. 2005. 青藏铁路温性草原区路域植被自然恢复过程中群落组成和物种多样性变化研究. 山地学报, **23** (6): 657–662.
- 黎唯, 廖力夫, 谢勇光. 1994. 迁入鼠种——褐家鼠在新疆的现状. 中国媒介生物学及控制杂志, **5** (2): 31–33.