

青藏铁路、公路对野生动物活动的影响

殷宝法¹, 淮虎银¹, 张镜铨², 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. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:2003 年 8 月和 2004 年 8 月,在不冻泉保护站(35°17'N; 93°16'E)至五道梁(35°13'N; 93°04'E)一带调查青藏公路的运营和青藏铁路的建设对野生动物活动的影响,并分析了野生动物对青藏铁路上所建立的动物通道的利用情况。结果表明,青藏铁路的建设增加了青藏公路的交通运输量,青藏公路在铁路修建期间会对藏羚羊(*Pantholops hodgsoni*)、藏原羚(*Procapra picticaudata*)和藏野驴(*Equus kiang*)的活动产生部分影响。同时,野生动物通过自身的适应和行为调节可以减少环境改变产生的影响,如公路两侧动物的活动高峰正好是公路上车流量较少的时段、动物可以利用野生动物通道来通过青藏铁路等。藏野驴、藏羚羊与藏原羚均可利用通道穿越铁路,而藏羚羊对通道的利用频次和通道到公路的距离显著的正相关($p < 0.05$),大多数的动物通道因其高度、宽度和到公路的距离以及人类活动等因素的影响而不能被动物利用。总的看来,动物能够通过自己的适应和行为调节,可以适应青藏铁路修建对该地区的环境所带来的变化。

关键词:青藏铁路;野生动物通道;交通运输;野生动物

文章编号:1000-0933(2006)12-3917-07 中图分类号:Q143+.4,Q958 文献标识码:A

Influence of Qinghai-Tibetan railway and highway on wild animal's activity

YIN Bao-Fa¹, HUAI Hu-Yin¹, ZHANG Yi-Li², ZHOU Le¹, WEI Wan-Hong^{1,*} (1. College of Life Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 3917~3923.

Abstract: Roads, especially large highways and railways can have a significant impact on wildlife movement and survival. These roads not only separate the previously connected areas of habitat, but they also create barriers that cumbersome wildlife movement between patches, particularly for large mammals, such as ungulates. Some of these impacts could be mitigated if wildlife can find and utilize passageways under highways and railways. The effect of traffic and railway buildings on wild animal activities during day time along Qinghai-Tibetan highway between Budongquan(35°17'N; 93°16'E) to Wudaliang(35°13'N; 93°04'E) was studied in August 2003 and August 2004. Furthermore, passageways under Qinghai-Tibetan railway were monitored to determine association between probability and frequency of passageways and the distance to Qinghai-Tibetan highway and passageways dimension variables. The result showed that, the traffic during daytime had some effects on Tibetan antelope (*Pantholops hodgsoni*), Tibetan gazelle (*Procapra picticaudata*), Kiang (*Equus kiang*) when they were passing the road, especially significant for Tibetan antelope. At the same time, they could habituate themselves to the changes of surroundings by learning and adjusting their behavior. Most of their activity took place in the morning in order to avoid the impacts result of traffic, and they also could find and utilize passageways under Qinghai-Tibetan railway. We found that the likelihood of utilization were significantly positive correlated with the distance to Qinghai-Tibetan highway. Passageways dimensions, surrounding habitat and human activities could

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(90202012)

收稿日期:2005-08-11; **修订日期:**2006-01-05

作者简介:殷宝法(1975~),男,山东费县人,硕士生,主要从事动物行为生态学研究. E-mail: baofayin8@163.com

致谢:Mekki 先生对英文摘要润色,特此致谢!

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: whwei@yzu.edu.cn

Foundation item: This work was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 90202012). E-mail: baofayin8@163.com

Received date: 2005-08-11; **Accepted date:** 2006-01-05

Biography: YIN Bao-Fa, Master candidate, mainly engaged in animal behavior ecology. E-mail: baofayin8@163.com

influence themselves utilized by wild animal. Most passageways under Qinghai-Tibetan railway could not be effectively utilized by wildlife for their low length, low height or human activities. Anyway, wildlife could habituate themselves to the changes of surroundings owing to the Qinghai-Tibetan railway building by learning and adjusting their behavior.

Key words: Qinghai-Tibetan railway; wildlife passageways; traffic; wild animals

道路网络已经成为当今社会和经济发展的中枢,其分布范围之广和发展速度之快,都是其它人类建设工程不能比拟的^[1]。当道路网络和各种交通工具为人类社会带来巨大效益的同时,它们对自然景观和生态系统的分割、干扰、破坏、污染等各种负面影响也在不断加大,并引起了人类社会的广泛关注^[2~4]。

道路的修建使动物生活所需要的大面积领域被分割成小区域,破坏了动物的栖息、生长、繁殖和活动的场所,对动物的觅食、生殖、“通讯”等活动都构成不同程度的影响^[5~8]。同时,道路的建设、营运过程中会造成野生动物的直接死亡,使得部分野生珍稀动物因无法获得足够的食物、配偶以及非正常的死亡而面临种群灭绝的危险^[9~11]。因此,如何协调好道路对经济发展和对生物多样性保护的相互关系是所有国家野生动物管理者面临的一大挑战^[12]。从20世纪50、60年代,国外一些生态学家和民间组织开始关注公路和铁路对野生动物活动的影响及其对野生动物的直接致死作用^[13],设计和使用野生动物通道来减轻道路对野生动物的负面影响,以期保护有限的生物多样性资源^[14],许多学者对一些野生动物通道的利用情况进行了长期的研究,探讨了影响野生动物利用动物通道的因素以及动物通道在保护野生动物中的作用^[15~17]。

正在修建的青藏铁路和已经运营多年的青藏公路经过素有“中华水塔”之称的青藏高原地区。青藏高原是生态环境极为脆弱的地区,由于其特殊的自然地理位置及深远的政治历史意义而备受世人关注。青藏铁路沿线经常活动的大型野生动物有藏野驴(*Equus kiang*)、藏羚羊(*Pantholops hodgsoni*)、藏原羚(*Procapra picticaudata*)、狐狸(*Vulpes* spp.)和狼(*Canis lupus*)等。大型动物具有大的巢区,为了获得足够的食物和配偶,它们需要经常的穿越道路,这无形中增加了道路对它们的负面影响^[18]。为保障藏羚羊等野生动物的正常生活和迁移繁殖,青藏铁路工程部门与野生动物保护研究部门协作,在动物经常活动的区域修建野生动物通道,以保障其正常生活和迁移繁殖。

目前,国内许多科研工作者就铁路的建设、营运对生态环境的破坏与污染作了大量的研究^[19~21],但道路对动物活动的影响以及动物对所建通道的利用情况尚无报道。本文拟通过实地调查,确定青藏公路运营和青藏铁路建设对动物活动的影响以及野生动物对所建动物通道的利用情况,评价了青藏铁路、公路对野生动物活动的影响,分析了动物通道在保护野生动物中的作用。

1 研究地区及方法

1.1 研究地区概况

青藏铁路和公路通过我国最大的自然保护区——可可西里国家自然保护区的边缘,铁路及公路东侧的果洛盆地是藏羚羊的主要越冬地,而西侧的卓乃湖、可可西里湖、太阳湖等区域是其繁殖的集中地^[22]。每年的6、7月份,藏羚羊会成群的从越冬地迁往繁殖地,8月份开始回迁。其中不冻泉保护站(35°17'N; 93°16'E)至五道梁(35°13'N; 93°04'E)一带是藏羚羊迁徙的重要地段,也是其它野生动物活动较多的地方^[23]。青藏铁路建设单位在这一地带建立多处野生动物通道,本项研究主要在该区域进行。该地区的植被主要有紫花针茅(*Sripa purpurca*)、扇穗茅(*Lizzledalca racmosa*)、羽柱针茅(*Szipa subsssiliflora* var. *basiplumoso*)、青藏苔草(*Carex moorcroftii*)、昆仑嵩草(*Kobresia lizzledalea*)等植物。

1.2 动物活动情况的观察及青藏公路日车流量的记录

在2003年8月和2004年的8月份,研究者开车沿青藏公路从不冻泉保护站至五道梁进行调查,汽车行驶速度为40~60km/h。用望远镜观察公路两侧1000m内大型动物的种类和数量,记录所见动物的时间和位置,并观察动物穿越公路的行为。在没有人类干扰的情况下,动物通过公路的行为格局包括:抬头观察,靠近公路并登上路基,警戒,通过路面。为了便于比较不同动物种类通过公路时所需时间的区别,用摄像机记录动物翻

越公路的整个行为过程,并对第一只动物通过公路所需要的时间进行分析。

在 2003 年的 8 月 22~25 日、2004 年的 8 月 7~16 日,每天在楚玛尔大桥处记录 6:30~21:30 之间通过青藏公路的汽车数量,每半小时核计一次总数,由此计算白天车流量的时空分布。

1.3 动物通道的类型及利用分析

首先确定动物通道的种类,测定各个通道的长度、宽度、高度以及到公路的距离。长度指平行于青藏铁路方向通道两端的距离(包含中间的桥墩),宽度指垂直于青藏铁路方向通道两端的距离,高度指通道顶部下缘到地面的距离,通道到公路的距离指通道西侧入口处到青藏公路的距离。然后在通道的一侧设置动物足迹记录区,记录区由细砂、黏土和煤粉按 2∶2∶1 的比例组成,厚度为 3~4mm,宽度为 200cm,长度和通道的长度相等,每天早晨和傍晚记录在足迹记录区留下的足迹,根据足迹的形状和数量推测动物的种类和数量。记录完成后将足迹消除,恢复原状。其中由于清水河大桥(长为 11.7km)、楚玛尔河特大桥(相邻两座,总长为 4km)和五北大桥(长为 0.186km)的长度较大而没有设置动物足迹记录区,这 3 处动物的利用情况由专人观察记录,观察记录时间为每天 6:30~21:30。

1.4 统计分析

采用双相关法(Bivariate correlation)分析不同时段公路两侧动物种群的数量与该时间段的车流量、动物对通道的利用频次与该通道的特征之间的关系;对不同动物的种群数量进行单因素方差(One-Way ANOVA)检验;对不同动物穿越公路所花费的时间进行 *t* 检验。所有的统计分析都在大型统计软件 SPSS for Windows 10.0 中进行,以 $p < 0.05$ 作为差异显著的标准。

2 结果与分析

2.1 动物的种类及活动时间

研究期间,在公路和铁路的两侧共观测到 3 种大型动物:藏羚羊、藏原羚和藏野驴。其中 2003 年共观察到藏羚羊 120 群、藏原羚 79 群和藏野驴 9 群;2004 年共观察到藏羚羊 118 群、藏原羚 66 群和藏野驴 12 群,它们的种群数量表 1 所示。

表 1 公路两侧藏羚羊、藏原羚、藏野驴的种群数量(只)

	藏羚羊 <i>Pantholops hodgsoni</i>		藏原羚 <i>Procapra picticaudata</i>		藏野驴 <i>Equus kiang</i>	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004
平均值(只) Mean (Ind.)	39.76	56.60	6.01	6.00	4.23	3.50
标准误差 Standard Error(SE)	3.13	12.04	1.53	1.58	1.34	1.82
最小值(只) Minimum(Ind.)	6	8	1	2	2	2
最大值(只) Maximum(Ind.)	200	400	24	17	15	13

单因素方差检验表明:3 种动物的种群数量具有极显著的差异($df = 2$, $F = 19.444$, $p < 0.01$),最小显著性差数检验(LSD 法)表明藏羚羊的种群数量极显著的高于藏原羚和藏野驴($p < 0.01$),藏原羚和藏野驴的种群数量之间无显著的差异($p > 0.05$)。

3 种动物的主要活动时间图 1 所示。藏羚羊在 7:00~9:36、14:24 左右和 16:48 左右被观察到的数量均较多;藏原羚在早晨被观察到的数量也相对较高,而在其它时间所观察到的数量基本一致;藏野驴在不同时间所观察到的数量无明显不同。

1.2 青藏公路日车流量的时间分布

青藏公路日间车流量的时间分布图 2 所示。13:30~14:00 时车流量达到最大(56 辆),在 6:30~9:30、18:30~19:00 与 21:00~21:30 时间段的车流量较低(低于 30 辆),有利于动物穿越公路,此时段正是藏羚羊、藏原羚活动的高峰期。对不同时段公路上的车流量与该时间段两侧动物种群的数量进行双相关分析表明:车流量的大小与该时间段内公路两侧藏羚羊、藏原羚的种群数量极显著的负相关($r = -0.506$, $p = 0.006$; $r =$

- 0.495 , $p = 0.007$) ,说明这两种动物对青藏公路交通运输的干扰作用在活动时间上形成了一定的适应性。

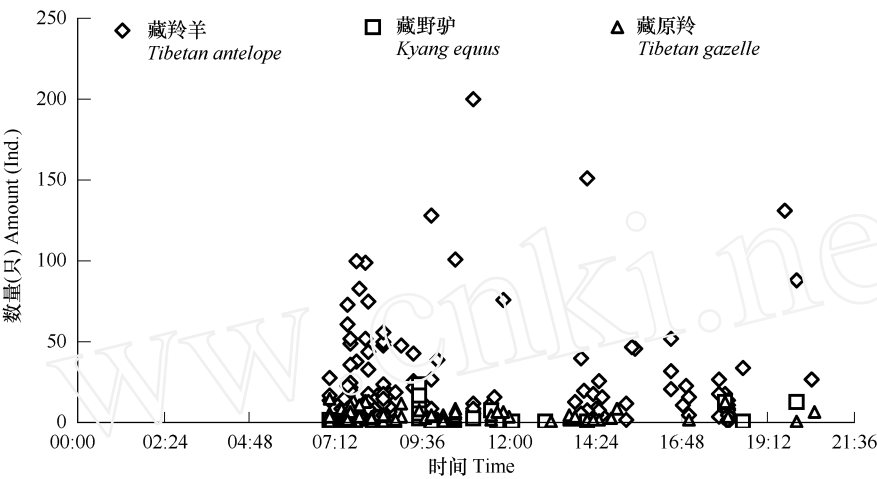


图1 动物活动的主要时间
Fig.1 The distributing of animal active time

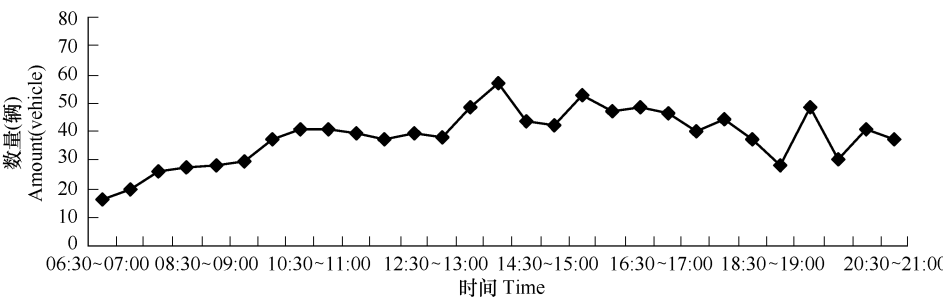


图2 青藏公路日间车流量的时间分布(辆/0.5h)
Fig.2 The time distributing of vehicle amount on the Tibetan road in the daytime(unit/half hour)

1.3 动物穿越公路的时间

在没有干扰的情况下,第一只动物通过公路所需要的时间表 2 所示。公路上的车流量会对动物穿越公路的活动产生干扰,尤其是在车流量较高的时段,使它们很难顺利的穿越公路。其中由于藏羚羊通过公路所需要的时间(156s)远高于藏原羚(28s)和藏野驴(18s),受车流量的影响最大。

1.4 动物对通道的利用及影响因子

索南达杰保护站和五道梁之间的野生动物通道大体可分为两大类,桥梁结构(12 座)和水泥方形通道(25 座),在桥梁结构的动物通道中,清水河特大桥、楚玛尔河特大桥、五北大桥,采用“以桥代路”方案设计的,桥梁的高度和长度存在差异,其它 8 座桥梁通道结构完全相同,水泥方形通道之间的构造也完全相似。结果如表 3。

2003 年,没有记录到藏羚羊利用动物通道的行为,藏羚羊迁徙时主要从路基上翻越铁路,但在楚玛尔河大桥处记录到藏原羚、藏野驴利用通道穿越铁路

表2 藏羚羊、藏原羚、藏野驴个体通过青藏公路所花费的时间(s)及其分配

Table 2 The spending time (s) of <i>Pantholops hodgsoni</i> , <i>Procacpra picticaudata</i> , <i>Equus kiang</i> on the crossing Tibetan highway			
项目 Item	藏羚羊 <i>Pantholops hodgsoni</i>	藏原羚 <i>Procacpra picticaudata</i>	藏野驴 <i>Equus kiang</i>
抬头观察 Observation	126	12	10
靠近并登上路基 Approaching and arriving on the Tibetan road	11	10	6
警戒 Vigilance	15	2	0
通过路面 Crossing road surface	4	4	2
总时间 Sum time	156	28	18

的行为。2004 年,记录到藏羚羊利用五北大桥和楚玛尔大桥,藏原羚利用楚玛尔河大桥、桥梁通道和五北大桥以及藏野驴利用楚玛尔河大桥、桥梁通道穿过铁路的行为(表 4)。

表 3 野生动物通道的特征及到青藏公路的距离

Table 3 Attributes of wildlife passages and their distances to Qinghai-Tibetan highway				
通道 Passage	长度 Length(m)	宽度 Width(m)	高度 Height(m)	到公路的距离 Distance to highway(m)
清水河大桥 Qingshuihe bridge	11700	3	1~2.5	600
桥梁通道 1~4 Pontine passage 1~4	14.6	3.4	3.9	110
水泥通道 1~20 Cement passage 1~20	2	23.5	2	100
楚玛尔河大桥 1 Chuma bridge 1	3500	3	6~7	1210
楚玛尔河大桥 2 Chuma bridge 2	500	3	6~8	1150
桥梁通道 5~8 Pontine passage 5~8	14.6	3.4	3.9	100
水泥通道 21~25 Cement passage 21~25	2	23.5	2	100
五北大桥 Wubei Bridge	198	3	7~8	1744

表 4 藏羚羊、藏原羚、藏野驴对不同动物通道的利用情况

Table 4 Frequency of passage utilized by <i>Pantholops hodgsoni</i> , <i>Procra pra picticaudata</i> , <i>Equus kiang</i> in August 2004								
通道 Passage	清水河大桥 Qingshuihe Bridge	桥梁通道 1~4 Pontine passage 1~4	水泥通道 1~20 Cement passage 1~20	楚玛尔河大桥 1 Chuma Bridge 1	楚玛尔河大桥 2 Chuma Bridge 2	桥梁通道 5~8 Pontine passage 5~8	水泥通道 21~25 Cement passage 21~25	五北大桥 Wubei Bridge
藏羚羊 <i>Pantholops hodgsoni</i>	0	0	0	0	50	0	0	125
藏原羚 <i>Procra pra picticaudata</i>	0	0	0	0	8	2	0	1
藏野驴 <i>Equus kiang</i>	0	1	0	2	6	1	0	0

双相关分析表明:藏羚羊对通道的利用频次与通道到公路的距离显著的正相关 ($r = 0.795, p < 0.05$),但和通道的高度、长度、宽度无显著的相关性 ($p > 0.05$);藏原羚和藏野驴对通道的利用频次和通道的高度、长度、宽度以及到公路的距离无显著的相关性 ($p > 0.05$)。

2 讨论

2.1 青藏公路的运营对动物活动的影响

公路在运营后,公路上行驶的车辆会影响动物对公路的穿越,有时还造成动物的直接死亡^[24],并影响到野生动物的繁殖活动^[8]。领域较大的动物为了获得足够的食物和配偶,要经常的穿越公路,更容易受道路阻隔所带来的影响^[13]。藏野驴、藏羚羊和藏原羚都是领域比较大的动物,青藏公路上的车辆行驶不可避免的会对它们的活动带来一定的影响。野生动物在种群水平上穿越公路时的行为是连续的,动物通过公路所需要的时间和种群数量有关,数量越大,所需要的时间就越长^[25]。公路两侧藏羚羊的种群数量显著的高于藏野驴和藏原羚,并且藏羚羊个体通过公路所花费的时间高于藏野驴和藏原羚个体,因此藏羚羊种群通过公路时所需要的时间要远大于后两者,更易受到行驶车辆的影响,更不容易通过公路。同时,司机和乘客的人为干扰也会影响动物穿越公路的行为活动,尤其对藏羚羊的影响更为明显。成群的藏羚羊出现在公路附近时往往会引起乘客的好奇心,常常会停车观看或鸣笛等,这都会使藏羚羊被迫远离公路,不得不放弃原想通过的地点,从而大大增加了藏羚羊群在公路附近徘徊的时间。为了使藏羚羊能顺利的翻越公路,从 2004 年 8 月 13 日起,保护站的工作人员和志愿者一起上路堵车,发现有藏羚羊群试图翻越公路时在两端进行堵车,等藏羚羊通过后才让车辆通行,通过这种方式才使得大多数的藏羚羊群体安全的通过公路。

野生动物通过学习并调整自己的行为,可以对环境产生适应^[18, 25]。驼鹿 (*Alces alces*) 和红鹿 (*Cervus elaphus*) 在傍晚的行为活动增强,该时段车流量较少,有利它们穿越公路^[26]。在本次研究中,藏羚羊和藏原羚的主要活动强度和车流量显著的负相关,这样有利于它们穿越公路,说明它们对公路的环境产生了一定的适应性。动物对环境的适应需要一个过程,其适应程度与该物种在该地区生活的时间长短有关^[18, 25]。藏野驴和

藏原羚是生活在该区域的,而藏羚羊是在迁移过程中通过该区域,藏羚羊在登上路基时有明显的警戒行为,并且通过公路所花费的时间远高于藏野驴和藏原羚,因此藏野驴和藏原羚比藏羚羊更熟悉该地区的环境,更能适应该区域的环境变化。

2.2 青藏铁路建设对动物活动的影响

青藏铁路在修建过程中由于施工所产生的噪音、道路沿线人为活动的增加以及所需物资的运输都或多或少地对动物的活动产生影响。但在铁路投入运营后,由于铁路运输在时间上是相对固定的,而且单位时间段内过往的车辆频次要远远低于公路车辆过往的频次,所以只要在铁路两侧动物活动的高峰时段控制火车的过往频次,将会明显降低铁路对动物活动的影响。

在道路的修建中,在动物经常通过的路段建立动物通道,从而减少发生意外死亡,并在一定程度上保证栖息地的连续性,降低道路对动物的影响,这是目前道路建设中经常采用的方式^[17,27]。动物对动物通道的利用需要一个适应过程^[25],2003年,藏羚羊通过青藏铁路的途径主要是从铁路上方翻越,2004年就明显的增加了对所设通道的利用,通道成为动物穿越铁路的主要方式。这也说明该地区设置的动物通道能够降低青藏铁路对野生动物行为活动的负面影响。

Clevenger 认为^[15,18],通道的结构、通道周围的环境特征以及人类的活动都会影响到野生动物对通道的利用程度,这与本研究结果相似。动物主要利用五北大桥、楚玛尔大桥及桥梁通道穿过铁路,对水泥方型通道和清水河大桥完全没有利用。水泥通道不能被利用的原因可能是通道的高度和长度不够。研究表明,野生动物通道可能会被某些动物用作捕食陷阱^[28],有蹄类动物具有大的视野,小型通道可能会被其作为捕食风险源而产生回避,清水河大桥虽然长度很大,但高度不够(最高处只有 2.5m),只有达到一定的高度和长度的通道才能被它们利用^[15,18]。结果还表明藏羚羊对通道的利用频次和通道到公路的距离显著的正相关。动物在穿越公路时处于高度紧张的状态,穿过公路后需要合适的环境来缓解压力,由于青藏铁路和青藏公路是平行修建的,并且铁路的路基都比较高,如果两者之间的距离过近,动物在穿越公路后视野受到铁路的阻挡,会始终处于高度紧张的状态之下,急切需要找一个合适的环境来缓解压力,不可能有时间来熟悉该处的环境条件,从而使得该处的动物通道不能被利用。人类的活动也影响到野生动物对通道的利用^[15],楚玛尔大桥 1 处的通道结构和楚玛尔大桥 2 处基本相似,但由于其下面住有施工人员而不能被动物利用。因此,在将来修建野生动物通道时要充分考虑到这些因素所带来的负面影响。

总之,当前青藏铁路的修建和青藏公路的运营都会给该地区野生动物的活动带来一定的影响,但野生动物通道的设置将降低青藏铁路对动物活动的负面影响,因此,野生动物通过适应并调整自己的行为,将来可以适应青藏铁路修建所带来的环境变化。

References:

- [1] Zong Y G, Zhou S Y, Peng P, *et al.* Perspective of road ecology development. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2396~2405.
- [2] Reijnen R, Foppen R, Terbraak C, *et al.* The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland III Reduction of density in relation to the proximity of main roads. *Journal of Applied Ecology*, 1995, 32: 187~202.
- [3] Forman R T T, Alexander L E. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and System Atics*, 1998, 29: 207~231.
- [4] Forman R T T. Horizontal processes, roads, suburbs, societal objectives, and landscape ecology. In: *Landscape ecological analysis: Issues and Applications*, 1999. 35~53.
- [5] Fahrig L, Merriam G. Conservation of fragmented populations. *Conservation Biology*, 1994, 8: 50~59.
- [6] Clevenger A P, Chruszcz B, Gunson K E. Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin*, 2001, 29: 646~653.
- [7] Trombulak S C, Frissel C A. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 2000, 14: 18~30.
- [8] Reijnen R, Foppen R, Meeuwsen H. The effects of traffic on the density of breeding birds in dutch agricultural grasslands. *Biological Conservation*, 1996, 75: 255~260.
- [9] Mumme R L, Schoech S J, Woolfenden G E, *et al.* Life and death in the fast lane: Demographic consequences of road mortality in the Florida. *Conservation Biology*, 2000, 14: 501~512.

- [10] Petra K, Felix K, Blaz K, *et al.* The impact of high speed, high volume traffic axes on brown bears in Slovenia. *Biological Conservation*, 2003, 111: 191~204.
- [11] Van D, Gift E A. Mammals and railroads: Impacts and management implications. *Lutra*, 1999, 42: 77~98.
- [12] Wilkie D, Shaw E, Rotberg F, *et al.* Roads, development, and conservation in the Congo basin. *Conservation Biology*, 2000, 14: 1614~1622.
- [13] Putman R J. Deer and road traffic accidents: options for management. *Journal of Environmental Management*, 1997, 51: 43~57.
- [14] Cain A T, Tuovila V R, Hewitt D G, *et al.* Effects of a highway and mitigation projects on bobcats in Southern Texas. *Biological Conservation*, 2003, 114: 189~197.
- [15] Clevenger A P, Waltho N. Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Ban. National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology*, 2000, 14: 47~56.
- [16] Dodd C K, Barichivich W J, Smith L L. Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. *Biological Conservation*, 1997, 51: 43~57.
- [17] Ruefenacht B, Knight R L. Influences of corridor continuity and width on survival and movement of deer mice *Peromyscus maniculatus*. *Biological Conservation*, 1995, 71: 269~274.
- [18] Clevenger A P, Waltho N. Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological Conservation*, 2004, 121: 453~464.
- [19] Wu Y R, Yang C Y. Influence of railway construction on animal's ecological behavior and its control. *Environmental Protection in Transportation*, 2001, 22(1): 42~43.
- [20] Xia X F. Influence of Qinghai-Tibet railway construction on wildlife and its protection. *Gansu Science and Technology*, 2004, 20(9): 27~29.
- [21] Wang M Z, Xu Y Y, Yang C Y, *et al.* Effect of Qinghai-Tibet railway construction on plateau Eco-environment. *Environmental Protection in Transportation*, 2002, 23(3): 2~4.
- [22] Schaller G B. *Wildlife of the Tibetan Steppe*. Chicago: University of Chicago Press, 1998. 38.
- [23] Qiu L, Feng Z J. Effects of traffic during daytime and other human activities on the migration of Tibetan Antelope along the Qinghai-Tibet highway, Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Zoologica Sinica*, 2004, 50(4): 669~674.
- [24] Feldhamer G A, Gates J E, Harman D M, *et al.* Effects of Interstate highway fencing on white-tailed deer activity. *Journal of Wildlife Management*, 1986, 50: 497~503.
- [25] Hunt A, Dickens H J, Whelan R J. Movement of mammals through tunnels under railway lines. *Australian Zoologist*, 1987, 24(2): 89~93.
- [26] Groot Bruinderink G W, Hazebroek, E. Ungulate traffic collisions in Europe. *Conservation Biology*, 1996, 10: 1059~1067.
- [27] Clevenger A P, Chruszcz B, Gunson K E. Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin*, 2001, 29: 646~653.
- [28] James A R C, Stuart-Smith A K. Distribution of caribou and wolves in relation to linear corridors. *Journal of Wildlife Management*, 2000, 64: 154~159.

参考文献:

- [1] 宗跃光, 周尚意, 彭萍, 等. 道路生态学研究进展. *生态学报*, 2003, 23(11): 2396~2405.
- [19] 伍玉容, 杨成永. 铁路建设对动物生态行为的影响与控制策略. *交通环保*, 2001, 22(1): 42~43.
- [20] 夏先芳. 青藏铁路建设对沿线野生动物的影响与保护. *甘肃科技*, 2004, 20(9): 27~29.
- [21] 王美芝, 许兆义, 杨成永, 等. 青藏铁路工程对高原生态环境的影响. *交通环保*, 2002, 23(3): 2~4.
- [23] 裘丽, 冯祥建. 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*, 2004, 50(4): 669~674.