

Doi: 10.19782/j.cnki.1674-0610.2020.03.017

长白山区两栖类动物对公路涵洞穿越行为的试验研究

兰家宇^{1,2}, 王 云², 关 磊², 周红萍², 孔亚平²

(1. 吉林农业大学, 长春 吉林 130118; 2. 交通运输部科学研究院, 北京 100029)

[摘 要] 为研究两栖类动物对公路涵洞的行为响应, 更好地为两栖类动物通道建设提供科学依据, 于 2018 年 4 月, 在毗邻长白山国家级自然保护区的环长白山旅游公路选取 2 个洞口微环境不同的涵洞, 对中国林蛙 *Rana chensinensis* 和中华大蟾蜍 *Bufo gargarizans* 的行为响应进行了试验。结果显示, 中国林蛙与中华大蟾蜍行为差异显著, 中国林蛙对涵洞有明显的倾向性, 而中华大蟾蜍则回避涵洞 ($P < 0.05$); 2 种两栖类动物对洞口有水体和植被覆盖的涵洞穿越发生频次多于洞口裸露且无水体分布的涵洞, 表明涵洞口附近的水体和植被覆盖, 对两栖类动物利用涵洞有一定程度吸引效应。

[关键词] 两栖类动物; 动物通道; 涵洞; 行为响应; 生境

[中图分类号] U 412.1+3

[文献标志码] A

[文章编号] 1674-0610 (2020) 03-0095-04

Experimental Study on the Crossing Behavior of Highway Culverts by Amphibians in Changbai Mountain

LAN Jiayu^{1,2}, WANG Yun², GUAN Lei², ZHOU Hongping², KONG Yaping²

(1. Jilin Agriculture University, Changchun, Jilin 130118, China; 2. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

[Abstract] In order to study the behavioral response of amphibians to highway culverts, which will provides a scientific basis for the construction of amphibians crossing structures. In April 2018, two different culverts with different micro-environments were selected in the Ring Changbai Mountain Scenic Highway near Changbai Mountain National Nature Reserve, and the behavioral responses of the Chinese brown frog, *Rana chensinensis*, and the Asiatic toad, *Bufo gargarizans*, were tested. The results showed that the Chinese brown frog and the Asiatic toad have significant differences in behavior. Chinese brown frogs showed a clear tendency to culverts, while the Asiatic toad avoided culvert passages ($P < 0.05$). The crossing frequency of two amphibians to the culverts that has water bodies and vegetation cover at the entrance was more than the culverts without vegetation cover and water bodies. This study indicates that the quality of habitat near the culvert entrance has a certain degree of influence on the use of culvert passages by amphibians.

[Key words] amphibians; wildlife crossing structure; culvert; behavioral response; habitat

[收稿日期] 2019-01-15

[基金项目] 国家自然科学基金项目(51508250); 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(20180615); 吉林省交通运输厅科技项目(2018-1-14-1); WWF 项目资助(P03516)

[作者简介] 兰家宇(1992-), 男, 天津人, 硕士研究生, 主要从事野生动物生态学研究,

[引文格式] 兰家宇, 王 云, 关 磊, 等. 长白山区两栖类动物对公路涵洞穿越行为的试验研究[J]. 公路工程 2020 45(3): 95-98, 116.

LAN J Y, WANG Y, GUAN L et al. Experimental study on the crossing behavior of highway culverts by amphibians in changbai mountain[J]. Highway Engineering 2020 45(3): 95-98, 116.

1 概述

长白山地区具有丰富的旅游资源,伴随旅游业兴起,以环长白山旅游公路为代表的公路穿越林区,森林被公路分割为若干大小不一的块状林地,严重影响了栖息在森林内部的野生动物的生存繁衍^[1]。道路最直观,也是对野生动物生命安全威胁最大的影响是道路致死,其影响范围涵盖两栖类、爬行类、鸟类、哺乳类及无脊椎动物^[2-5]。道路致死已成为继盗猎之后,又一严重威胁野生动物种群数量的人为因素,特别是对一些行动能力较差的种类,如两栖类等^[6-7]。目前,缓解公路动物致死的措施主要包括公路动物通道、建设围栏和增加警示标语等^[6,8-9]。我国在该领域研究起步较晚,且大多关注如藏羚羊、亚洲象等大型哺乳类动物^[10-13],而针对更容易受到道路影响的两栖类动物的相关研究较少。具有周期性迁徙习性的两栖类相比其它种类,对道路的影响更为敏感,致死率也最高^[14-15]。长白山地区两栖类动物尤其是中国林蛙、中华大蟾蜍等受道路致死影响最为严重^[1,16-17]。

因此,开展长白山区两栖类动物与道路关系及动物通道建设的相关研究,对该地区两栖类动物的保护具有重要意义。本试验通过观察中国林蛙和中华大蟾蜍对环长白山旅游公路上既有公路涵洞的行为反应,分析两种两栖类动物对涵洞通道及不同洞口微环境下的行为反应差异性,从而为该地区两栖类动物通道的建设提供理论依据。

2 研究方法

2.1 研究区域

长白山自然保护区位于吉林省东南部(N41°41'49"~42°25'18",E127°42'05"~128°16'48"),总面积196 465 hm²,气候类型属于温带大陆性山地气候,冬季漫长而寒冷,夏季短,气候较温暖湿润。保护区公路里程长约499 km,根据功能可分为旅游公路、环区巡护公路、林间车道和观景人行栈道等^[17-18]。保护区平均道路密度为0.254 km/km²,核心区道路密度占总道路密度的38.8%。保护区内目前已知的两栖动物9种^[17]。

2.2 研究方法

在2018年4月两栖类迁徙期,选取环长白山旅游公路2个涵洞作为试验地点,桩号分别为K15+100和K15+420。环长白山旅游公路K10~K20

路段沿着头道白河布线,两栖类动物在春季繁殖迁徙期和秋季的冬眠迁徙期,经常在水陆生境之间移动,最易遭受道路致死^[17]。所选两处涵洞通道位于中国林蛙迁徙廊道内,可最大程度模拟两栖类迁徙期活动的真实环境。两处涵洞洞口微生境不同,K15+100两侧洞口无水,地面植被盖度低(<50%) [见图1(a)],洞内均为混凝土铺装,而K15+420一侧洞口有面积约20 m²的水体和较高植被覆盖(>80%) [见图1(b)]。两处涵洞通道规格相同,均为1-1×1 m的钢筋混凝土盖板涵,洞口为3 m的八字墙结构,在此次试验中,该结构可模拟隔离栅的功能。



(a) K15+100 涵洞



(b) K15+420 涵洞

注:涵洞另一侧干燥,于另一侧释放两栖类动物和开展实验

图1 试验涵洞洞口现场照片

Figure 1 Photos of Experimental culvert

以中国林蛙(120只)和中华大蟾蜍(100只)为试验对象,将每种试验动物分组,每组10只,每次试验连续进行5~7组,每组试验观察时长为10 min。于两侧八字墙末端连线的中点释放试验动物,为减少在抓取动物和释放动物时人员的扰动,先将每组试验动物放入倒扣在地面上的塑料筒内,静置3~5 min后掀开塑料筒,人员迅速撤离至灌丛后隐藏并保持安静,观察和记录动物的行为。中国林蛙共进行了12组试验(K15+100处5组,K15+420处7组),中华大蟾蜍共进行了10组试验(K15+100处和K15+420处各5组试验)。

将试验动物对涵洞的行为定义为 3 类:

a. 进入: 两栖类动物进入涵洞内部。

b. 徘徊: 两栖类动物在八字墙末端连线与涵洞口之间区域移动或停歇。

c. 回避: 两栖类动物在八字墙末端连线外活动。

本试验将通过 Kolmogorov - Smirnov Z 检验法对 2 种动物的行为分布情况进行检验, 若符合正态分布, 则采用独立样本 T 检验对中国林蛙和中华大蟾蜍的行为进行对比分析; 若不符合正态分布, 采用 Mann - Whitney U 检验进行分析, 以判断两种动物对穿越涵洞的行为差异及在不同洞口微环境下的行为选择差异。本试验的检验和数据分析均在 SPSS 19.0 上完成。

3 结果

3.1 中国林蛙和中华大蟾蜍对涵洞的行为选择特征

中国林蛙每组试验 3 种行为的发生频次为: 进入 (6.50 ± 0.26) 只/组; 徘徊 (2.08 ± 0.23) 只/组; 回避 (1.42 ± 0.29) 只/组; 中华大蟾蜍的行为发生频次为: 进入 (3.90 ± 0.64) 只/组; 徘徊 (0.4 ± 0.22) 只/组; 回避 (5.60 ± 0.62) 只/组。经 KS 检验, 2 种动物的行为发生频数符合正态分布, 经独立样本 T 检验, 2 种动物的 3 种行为为差异均极显著 (P < 0.01) (见表 1)。中国林蛙偏好涵洞穿越公路, 进入涵洞发生频次显著高于中华大蟾蜍进入涵洞的发生频次; 而中华大蟾蜍表现出显著的回避效应, 回避涵洞发生频次显著高于中国林蛙回避涵洞发生频次 (见图 2 和表 1)。

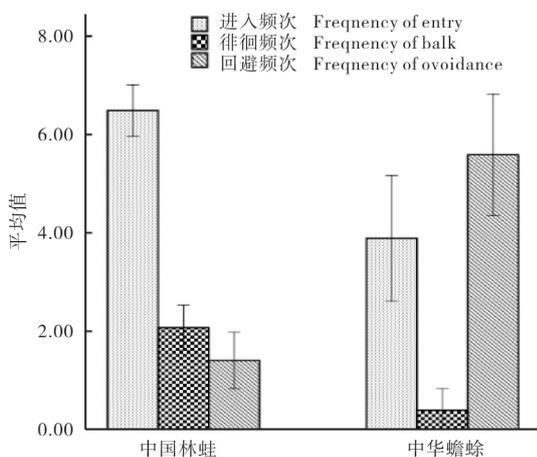


图 2 2 种两栖类动物的行为发生频次
Figure 2 Frequency of behavior of two amphibians

表 1 2 种两栖类动物的行为差异分析
Table 1 Analysis of behavioral differences between two amphibians

行为	t	df	P
进入	3.055	21	0.006
徘徊	4.239	21	0.000
回避	-4.337	21	0.000

3.2 中国林蛙和中华大蟾蜍在不同洞口微环境的行为特征

中国林蛙在 2 处涵洞各行为的发生频次见表 2。经独立样本 T 检验, 中国林蛙在 2 处涵洞的 3 种行为为差异均不显著 (P > 0.05) (见表 3), 但在 K15 + 420 处涵洞的进入行为频次更多, 回避行为频次更少, 显示其偏好 K15 + 420 处涵洞穿越的趋势。

中华大蟾蜍在 2 处涵洞各行为的发生频次见表 2。经独立样本 T 检验, 中华大蟾蜍在 2 处涵洞的 3 种行为为差异均不显著 (P > 0.05) (见表 3), 与中国林蛙类似, 中华大蟾蜍也在 K15 + 420 处涵洞的进入行为频次更多, 也有偏好 K15 + 420 处涵洞穿越的趋势。

表 2 2 种两栖类动物在不同涵洞的行为发生频次
Table 2 Frequency of behavior of two amphibians in different culverts

	中国林蛙(只/组)		中华大蟾蜍(只/组)	
	K15 +420 涵洞	K15 +100 涵洞	K15 +420 涵洞	K15 +100 涵洞
进入	6.57 ± 0.30	6.40 ± 0.51	4.00 ± 0.71	3.80 ± 1.16
徘徊	2.29 ± 0.36	1.80 ± 0.20	0.20 ± 0.21	0.60 ± 0.40
回避	1.14 ± 0.26	1.80 ± 0.58	5.60 ± 0.75	5.60 ± 1.08

表 3 中国林蛙和中华大蟾蜍在不同涵洞行为发生频次的差异分析

Table 3 Difference analysis of the frequency of behavior of two amphibians in different culverts

		t	df	P
中国林蛙	进入	-0.446	11	0.664
	徘徊	0.354	11	0.730
	回避	0.163	11	0.873
中华大蟾蜍	进入	0.147	8	0.886
	徘徊	-0.894	8	0.397
	回避	0.000	8	1.000

4 讨论

不同两栖类物种对涵洞的行为反应各异, 法国的研究发现当地的水蛙和普通蟾蜍对涵洞具有选择性, 而敏蛙却回避涵洞^[19]。在莽山自然保护区中的研究发现, 不同种类的两栖类动物对涵洞的选择也有差别^[20], 研究结果也印证了这一结论, 中国

林蛙比中华大蟾蜍对涵洞表现出更为明显的选择性,其进入涵洞的行为发生频次显著高于中华大蟾蜍,而中华大蟾蜍对涵洞表现出较为明显的回避反应。长白山区中国林蛙一般4月中旬开始繁殖,大规模迁移后转入陆地生活期,迁移过程中穿越公路导致大量致死,而中华大蟾蜍5月初才开始繁殖^[17]。本实验4月份开展,正处于中国林蛙大规模迁徙期,2处试验涵洞又恰好位于其迁徙路线上,因此其穿越涵洞进入陆地栖息地活动显得更加频繁且有规律,而中华大蟾蜍在此时则不具备该活动特性。

本研究显示2种两栖类动物对不同微环境下的涵洞穿越频率没有显著差异,但无论中国林蛙还是中华大蟾蜍都表现出偏好洞口有水体和植被等微生境条件的涵洞来穿越公路。两栖类动物的皮肤比许多其他脊椎动物更容易干燥^[21]。裸露洞口微生境条件对中国林蛙和中华大蟾蜍带来的干燥风险可能导致其回避洞口没有植被和水体的涵洞,偏好洞口有水体和植被的涵洞来穿越。然而,快速的水流或洞口被水淹的涵洞又会不利于两栖类动物的穿越^[22-23]。

野生动物穿越结构与隔离栅的组合设计是减轻两栖类动物道路致死最有效的措施之一^[24-25]。0.6 m高的隔离栅可有效防止蛙类进入道路,而对于其他两栖类动物,0.4 m高的隔离栅就够了^[26]。隔离栅材料必须是完全不透明的、光滑的(刚性塑料,聚乙烯或帆布)、顶部进行凸起设计,以防止两栖类动物攀爬或跳跃^[23,26]。本研究中大量中华大蟾蜍并不进入涵洞而从涵洞两侧公路边坡直接爬上路面移动,很容易导致道路致死。因此,设置隔离栅可有效阻止其进入路面。

由于不同种类的两栖类动物的偏好不同,因此在两栖类通道建设方面,很难提出一个兼顾当地所有物种的标准化方案^[19]。本研究显示,虽然不同种类的两栖类动物对涵洞的利用率不同,但均有个体利用了涵洞,因此,涵洞还是能为两栖类动物躲避道路致死提供了一种可能。

本研究建议在两栖类迁徙期,在其迁徙路线上设置涵洞和隔离栅,一方面防止其上路,一方面便于其安全穿越公路;同时在洞口设置水体和植被覆盖,诱导和促进其利用涵洞通道。

[参考文献]

[1] 王云 朴正吉 关磊 等. 环长白山旅游公路对野生动物的影响

[J]. 生态学杂志 2013, 32(2): 425-435.

- [2] Forman R T T, Alexander L E. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 1998, 29: 207-231.
- [3] Laurance W F, Goosem M, Laurance SG. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests [J]. *Trends of Ecology & Evolution* 2009, 24(12): 659-669.
- [4] 陈济丁. 绿色公路建设理论与实践 [M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司. 2017, 57-62.
- [5] 崔纲, 王云. 我国道路生态学的发展现状及趋势 [J]. *公路工程*. 2016, 41(3): 85-88.
- [6] Forman R T T, Spering D, Bissonette JA, et al. *Road ecology: science and solutions* [M]. Washington: Island Press 2003.
- [7] Pereira A N, Calabuig C, Wachlevski M. Less impacted or simply neglected? Anuran mortality on roads in the Brazilian semiarid zone [J]. *Journal of Arid Environments* 2018, 150: 28-33.
- [8] 李月辉 胡远满 李秀珍 等. 道路生态研究进展 [J]. *应用生态学报*. 2003, 14(3): 447-452.
- [9] 王云 张峰 孔亚平. 我国交通建设对野生动物的影响及保护对策 [J]. *交通建设与管理* 2010, 5: 162-164.
- [10] 李耀增 周铁军 姜海波. 青藏铁路格拉段野生动物通道利用效果 [J]. *中国铁道科学*. 2008, 29(4): 127-131.
- [11] Yang Q S, Xia L. 2008. Tibetan wildlife is getting used to the railway [J]. *Nature* 452: 810-811.
- [12] 孔飞. 藏羚羊对青藏铁路野生动物通道的适应性及穿越通道时的行为学研究 [D]. 西安: 西北大学. 2009.
- [13] Pan W J, Lin L, Luo AD, et al. Corridor use by Asian elephants [J]. *Integrative Zoology* 2010, 4: 220-231.
- [14] Trombulak S, Frissell C. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities [J]. *Conservation Biology*, 2000, 14: 18-30.
- [15] Gibbs J P, Shriver W G. Can road mortality limit populations of pool-breeding amphibians? [J]. *Wetlands Ecology & Management* 2005, 13: 281-289.
- [16] Wang Y, Piao Z J, Guan L, et al. Road mortalities of vertebrate species on Ring Changbai Mountain Scenic Highway, Jilin Province, China [J]. *North-Western Journal of Zoology* 2013, 9: 399-409.
- [17] 王卓聪, 王云, 王超, 等. 长白山国家级自然保护区两栖类动物道路致死特征分析 [J]. *动物学杂志*. 2015, 50(6): 866-874.
- [18] 罗玉梅, 王卓聪, 王超, 等. 长白山路域两栖类动物损失调查及保护 [J]. *北华大学学报*. 2015, 16(1): 108-112.
- [19] Lesbarreres D, Lode T, Merila J. What type of amphibian tunnel could reduce road kills? [J]. *Oryx* 2004, 38: 220-223.
- [20] 莫吉伟. 湖南莽山国家级自然保护区两栖爬行动物公路死亡研究及生物通道建设 [D]. 长沙: 中南林业科技大学. 2009.
- [21] Mazerolle M J, Desrochers A. Landscape resistance to frog movements [J]. *Canadian Journal of Zoology* 2005, 83: 455-464.
- [22] Patrick D A, Schalk C, Gibbs J P, Woltz H W. Effective culvert placement and design to facilitate passage of amphibians across

(下转第116页)

结构如图 9 所示。增加墩柱或钢支撑结构适用于公路桥梁下方无承台或者公路桥梁下面的结构不平整的情况,通过对墩柱的改造可以加强原来的支墩与主梁的连接性能,同时还能增加桥梁的承载力,使结构在抗倾覆功能上更完善。

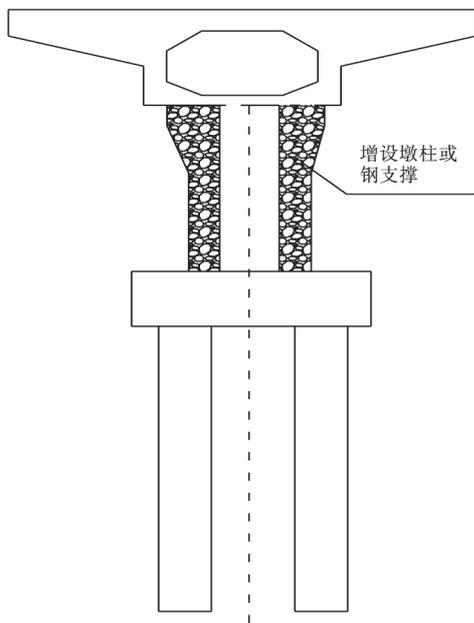


图 9 独柱梁桥增设墩柱或钢支撑示意图

Figure 9 Schematic diagram of additional columns or steel supports for single-column bridges

5 结论

本文结合实际例子,从桥梁的抗倾覆设计出发,分析了倾覆轴线、支承间距和支承方式对于桥梁设计过程中的抗倾覆性能影响,得到以下结论:

a. 针对公路独柱桥梁,在保证桥墩的类型一样的情况下,适当的增加桥梁的支承间距有益于增强桥梁的抗倾覆稳定性能。

b. 在双支座间距 1.5 m、单支座、梁墩固结、

公路独柱桥梁不同支承方式中,最好的桥梁支座的支承方式为梁墩固结,能够最大的增强桥梁的抗倾覆能力。

[参考文献]

- [1] 孙琪凯,高岩.独柱双支撑连续箱梁桥横向抗倾覆稳定性分析[J].铁道建筑,2018,58(9):8-10.
- [2] 薛爱新,李志勇,王洁光,等.特殊荷载作用下独柱墩匝道桥抗倾覆稳定性研究[J].公路工程,2018,43(4):140-144,179.
- [3] 殷新锋,杨小旺,丰锦铭,等.独柱墩连续弯梁桥抗倾覆稳定影响因素分析[J].公路与汽运,2016(1):156-161.
- [4] 宋福春,李孟臣,张国强.曲线桥抗倾覆稳定性分析[J].公路,2018,63(4):65-69.
- [5] AMIN A F MS, BHUIYAN A R, HOSSAINT, et al. Nonlinear Viscosity Law in Finite-element Analysis of High Damping Rubber Bearings and Expansion Joints[J]. Journal of Engineering Mechanics, 2015, 141(6):1-11.
- [6] 鲁圣弟,熊文,丁旭东,等.桥型布置对独柱墩曲线梁桥抗倾覆性能的影响[J].公路交通科技,2017,34(5):95-101.
- [7] 熊文,鲁圣弟,龚玄,等.独柱墩梁桥倾覆临界状态分析及规范法的适用性[J].中国公路学报,2018,31(3):49-58.
- [8] 宫亚峰,何钰龙,谭国金,等.三跨独柱连续曲线梁桥抗倾覆稳定性分析[J].吉林大学学报(工学版),2018,48(1):113-120.
- [9] 甘世泽.支承间距及方式对独柱墩箱梁桥抗倾覆稳定性影响分析[J].公路与汽运,2017(6):165-168.
- [10] 邢世玲,张佳,朱利明.独柱混凝土曲线连续梁桥抗倾覆稳定性研究[J].世界桥梁,2017,45(5):33-38.
- [11] 邢心魁,吴芳君,黄颖.独柱墩梁桥倾覆稳定性研究[J].公路与汽运,2016(06):154-158.
- [12] 牛洪刚.城市公路桥梁抗倾覆验算与加固改造的设计方案研究[J].公路工程,2018,43(2):129-133,269.
- [13] 彭卫兵,潘若丹,马俊,等.独柱墩梁桥倾覆破坏模式与计算方法研究[J].桥梁建设,2016,46(2):25-30.

(上接第 98 页)

- roads[J]. Journal of Herpetology, 2010, 44: 618-626.
- [23] Clevenger A P, Huijser M P. Wildlife crossing structure handbook: Design and Evaluation in North America. Report submitted to the Federal Highway Administration [R]. US. Department of Transportation, 2011.
 - [24] Ward A I, Dendy J, Cowan D P. Mitigating impacts of roads on wildlife: an agenda for the conservation of priority European pro-

tected species in Great Britain[J]. European Journal of Wildlife Research, 2015, 61: 199-211.

- [25] Rytwinski T, Soanes K, Jaeger J A G, et al. How effective is road mitigation at reducing road-kill? A meta-analysis [J]. Plos one, 2016, 11(11):1-25.
- [26] Woltz H W, Gibbs J P, Ducey P K. Road crossing structures for amphibians and reptiles: Informing design through behavioral analysis [J]. Biological conservation, 2008, 141: 2745-2750.