

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

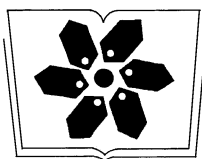
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12	

西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响

孙戈, 张立*

(北京师范大学生命科学学院, 北京 100875)

摘要: 2007年12月至2008年12月, 对小磨新路、小磨老路的云路制胶厂至曼粉段和附近的一条乡村公路对蛇类的影响进行了研究。通过 Logistic 回归模型探讨蛇类出现在公路上的地点与各种环境因子的关系; 通过多元逐步线性回归模型探讨蛇类出现在公路上的时间与气候因子的关系。研究期间巡路 52d, 共记录到蛇类 20 只 10 种。结果显示: 天然林边蛇上公路的概率显著低于农田和人工林; 2d 前的最高温越低, 最大湿度越大, 蛇上公路的概率越大。此外, 在公路及附近区域总共记录到的 14 种蛇中, 包括一些中国最稀有的种类, 比如绿林蛇 (*Boiga cyanea*) 和金花蛇 (*Chrysopelea ornate*)。

关键词: 爬行动物; 蛇; 公路; 西双版纳

The impact of xiaomo highway and local roads in Xishuangbanna on Snakes' activities

SUN Ge, ZHANG Li*

College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: The impact of highways on local snakes was examined on the new and old sections of Xiaomo Highway in Xishuangbanna between Yunlu Rubber Factory and Manfen and a rural road nearby. We cruised along the three roads in search of signs of live and dead snakes from December 2007 to December 2008. A total of 19 sites were founded with snakes alive or dead on the roads. At each location where snake was found we recorded information of the surrounding vegetation type, forest coverage and the distance to the nearest village. To compare to the background environment, we set 68 transect points at a 100m interval along the roads and recorded the same parameters. We also collected meteorological data including temperature, precipitation, and humidity of the day snake signs were found and of the three days prior to the survey date. Data collected from both the snake-present and background control sites were analyzed in a forward logistic regression model to identify key environment variables affecting the presence of snakes on roads. We then treated each survey day as a single sample unit, and summed up the number of snakes recorded on all three roads in a day as the dependent variable. A multivariate stepwise linear regression was applied to evaluate the correlation between the meteorological variables and the timing of snakes found on roads. A total of 20 individuals of 10 snake species were recorded on roads during this 52-day survey. The detection likelihood of snakes on roads with natural forest nearby was significantly lower than roads where roadside was the farmland or the rubber tree plantation. The primary meteorological factors leading to the presence of snakes on roads may be the lower maximal temperature and the higher maximal humidity two days prior to the survey date. It is evident that humidity and temperature plays important roles on the activeness of sub-tropical snakes, but not precipitation. The likelihood of snakes being crushed by cars varies among species, which may due to species' differences in body size and behavioral patterns. At last, among the 14 species of snakes found there were some of the rarest species in China such as *Boiga cyanea* and *Chrysopelea ornate*. Our findings urged conservation measures including building culverts or pathways for wildlife along the Xiaomo Highway to reduce the road mortality of snakes and other reptiles such as *Varanus salvator*.

基金项目: 美国内政部鱼和野生生物署亚洲象保护基金资助 (98210-8-G565)

收稿日期: 2009-10-22; **修订日期:** 2010-05-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: asterzhang@gmail.com

Key Words: reptile; snake; highway; Xishuangbanna

目前,公路对野生动物的影响在国内外日益受到关注。但国内关于这方面的研究多限于哺乳类和鸟类^[1-5]。国外关于公路对爬行类的影响的研究集中在北美和欧洲的种类。比如研究发现,美国索诺拉沙漠(Sonoran desert)的一条州级公路,在一条 44.1km 的样线上,四年轧死的蛇数量相当于当地 5km² 的范围内蛇类的总数^[6];而在佛罗里达的一条湿地边的公路上,平均每公里记录到的死蛇可达 1.854 条^[7]。蛇的种类不同,受公路影响的方式也不同:小型蛇通常不会跨越公路,从而导致种群隔离;大型蛇和毒蛇则会经常穿越公路,导致死亡率上升^[8]。即使是没有车辆的公路,也经常使得追踪雌性信息素的雄性红边束带蛇(*Thamnophis sirtalis parietalis*)停滞不前^[9]。而在印第安纳,漫游型的陆生铜腹水蛇(*Nerodia erythrogaster neglecta*)被公路车辆致死的数量远多于居留型的水生北方水蛇(*N. sipedon*);前者在绝大多数情况下是由于要在湿地间迁徙才穿越公路^[10]。蛇类上公路的时间呈现出季节差异,上公路的地点则受到附近地形、植被等因素的影响^[11]。各种形式的动物通道可以有效缓解公路对爬行动物的负面影响^[12]。

西双版纳所属的滇南及滇东南地区应是全国爬行动物种类最丰富的地区,相当一部分种类在中国仅分布于此^[13];但迄今为止,对它们的研究有限。而该地区的许多种类在中国都属于边缘分布,一旦绝迹,也就意味着在我国境内绝迹;因此,亟需对该地区公路建设等人为活动对蛇类等爬行动物造成的影响进行评估。村庄、农田、林地、郁闭度、植被类型会影响蛇上路的地点;几天前的气候会影响蛇上公路的时间;如果该假设被证实,那么就可以藉此预测公路在何时何地会对蛇类的威胁最大。

1 研究地点

小磨高级公路云路制胶厂至曼粉路段,全长约 3km,从西双版纳国家级自然保护区尚勇保护区北侧和勐腊子保护区南侧之间穿过,其中约 2km 的路段两侧皆为天然林。两个保护区之间的天然林面积约 6.5km²,属国有林,目前西双版纳保护区管理局正准备将其建设成野生动物走廊带。研究区域位置见图 1。

尚勇保护区东北侧的大龙哈自然村(N21°23.0',E101°37.8')是本研究的长期观察点。该区域属于北热带湿润气候,5—10 月份为雨季,炎热多雨,11—4 月份为旱季,暖热干燥;勐腊县年平均气温 21℃,年平均降雨量 1540mm,1 月份温度最低,平均 11℃,4 月份温度最高,平均 32℃。植被以常绿阔叶林、沟谷雨林和竹阔混交林为主,主要乔木包括绒毛番龙眼(*Pometia tomentosa*)、千果榄仁(*Terminalia myriocarpa*),以及榕属(*Ficus* spp.)和壳斗科等,竹类主要是黄竹(*Dendrocalamus membranaceus*)。除天然林外,公路附近山坡上多种植橡胶,也有柚子;山下平地种植水稻、西瓜、玉米等作物。

双车道的小磨高级公路(以下简称新路)和老公路在该区域并行,南木窝河有的路段从中间流过,有的路段则在两条公路的南边,河宽约 50m;尚勇保护区东北界河(以下简称界河)在该路段西端汇入南木窝河。新路共经过四座高架桥和一个隧道(南木窝河隧道)。本研究共对勐腊县曼粉村附近的新旧两条小磨公路和大龙哈乡村路共 3 条公路上遇见的爬行类状况进行监测。

2 研究方法

2.1 调查方法

将上述 3 条公路设为 3 条样线。每条公路记录其可能对爬行动物有影响的因素:公路类型(乡村公路、次级公路,和主要公路,本参量间接反映了公路的相对交通流量)、路边植被中天然林和农田所占比例(进而可计算人工林所占比例)。当遇到爬行类时,鉴定其种类,记录地点坐标和个体数量;若已死,记录尸体完整程度,以便推测其大概的死亡时间;若是活体,记录其当时的行为;同时记录生境类型、地点上方郁闭度(目测,二分类变量,1 为有超过 50% 林冠遮盖,0 为无)。

2.2 环境变量的记录

查天气记录网(<http://www.tqilw.cn/index.html>),将直线距离约 7km 之外的勐腊县城的记录近似作为研究地点的气象记录,记录当天、1d 前、2d 前和 3d 前的最高温、最低温、降雨量、平均湿度、最大湿度和最小

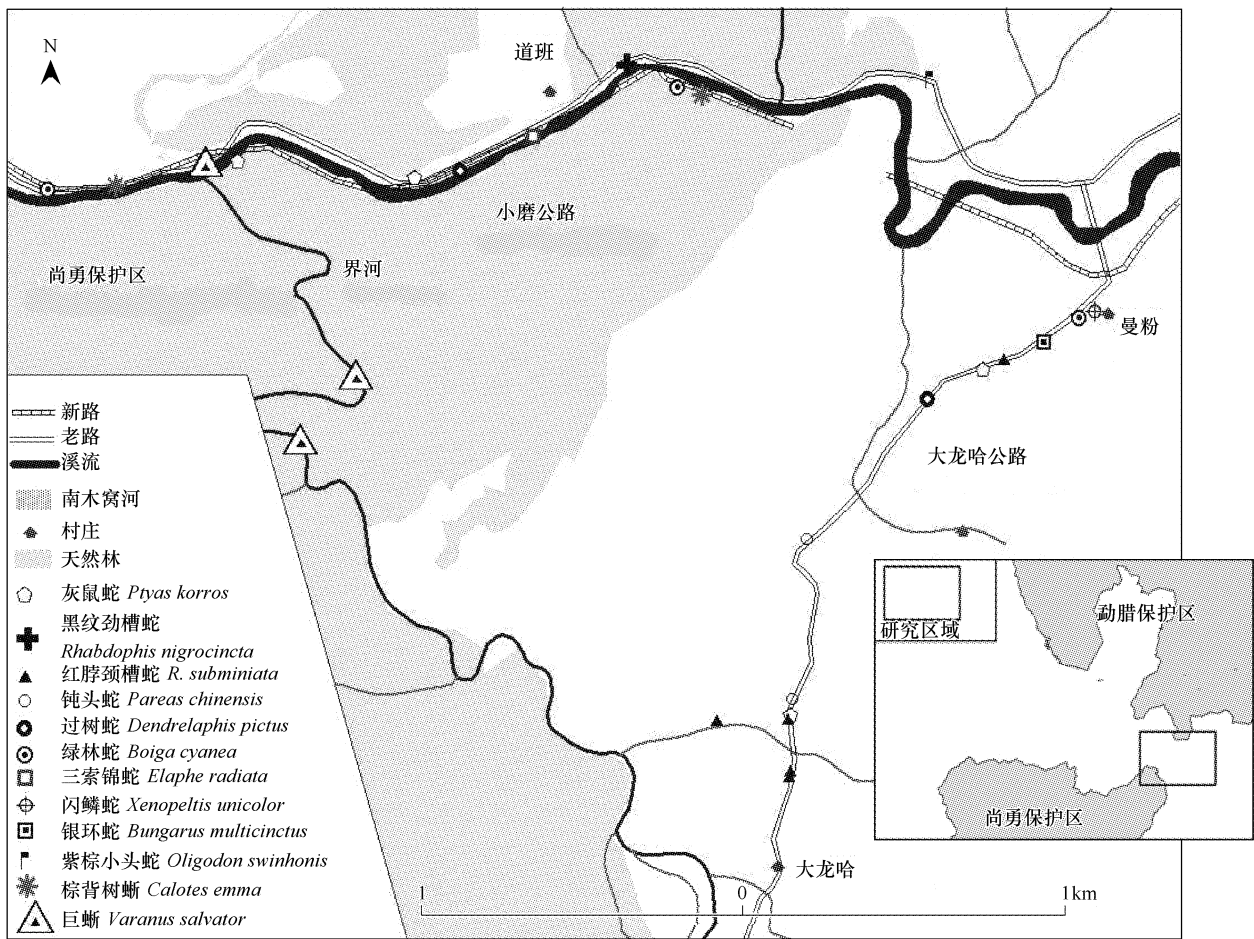


图1 研究地点及记录到爬行动物的地点

Fig.1 Study area and locations where reptiles were found

湿度。

2.3 影响蛇上公路地点的因素

在3条公路上均匀布点,每隔100m设1个样点,共得68个点(新路21个,老路24个,乡村公路23个),并且这些点没有与前述蛇上公路的地点重合。与记录到蛇上公路的19个点一起进行Logistic回归,因变量为样点是否记录到蛇,自变量是样点距最近村庄的距离、距最近天然林的距离、距最近农田的距离、距最近人工林的距离、距所有类型树林的最近距离、公路类型(共3条,乡村公路、老公路、新公路)、地点上方郁闭度、路边植被类型(天然林、人工林、农田,如路两侧植被型不一致,选择比重较大者,或者蛇更易到达的一侧的植被型——如若一侧为垂直的高墙,则选择另一侧的植被型),采用Forward LR法进行筛选,最后筛出的变量即对蛇上公路地点预测能力最强的变量。

2.4 影响蛇上公路时间的因素

下文的研究结果显示,对于不同类型的公路,蛇上路的频率没有显著差异;因此将巡视1d算作1个样本,将每日在3条公路上巡视的里程数相加作为当日总路程,如果当天走过同1条路的时间间隔在6h以上,则将第2次走过该路段的里程数也加入当日的总巡视路程中。由于每日巡视的路段不尽相同,每条路巡视的次数也存在差异,因此每日的总巡视路程、公路边天然林比例和公路边农田比例都不相同,可能会影响见到的蛇的数量;所以,以每日见到的蛇数量为因变量,当日总路程、公路边天然林比例、公路边农田比例,以及当日、1d前、2d前和3d前的最高温、最低温、降雨量、平均湿度、最大湿度和最小湿度为自变量,进行多元逐步线性回归,采用Stepwise法,筛选出的自变量即为对蛇上公路时间有显著影响的变量。

3 结果

3.1 爬行动物种类及巡路结果

在西双版纳 1 年半时间共记录到爬行动物 26 种(附录 I)。其中自 2007 年 12 月 22 日至 2008 年 12 月 2 日间,共巡路 52d,记录到蛇 20 只。巡视的 3 条公路的概况见表 1;其中“天然林比例”和“农田比例”分别指路边天然林和农田约占全路段的比例。

表 1 研究区域主要公路概况
Table 1 Condition of the main roads in study area

公路 Road	全长 Length/km	公路类型 Road type	天然林比例/% Proportion of natural forest	农田比例/% Proportion offarmland
大龙哈公路 Dalongha Road	2.3	乡村公路	0	50
小磨老路 Old highway	2.4	次级公路	90	0
小磨新路 New Highway	1.9	施工(2008-03-19) 次级公路(2008-03-21—04-06) 主要公路(2008-04-28—)	80	0

3.2 蛇上公路位置的影响因素分析

记录到的爬行动物上小磨公路地点如图 1,统计结果见表 2。进行 Logistic 回归时,路边植被类型由于有 3 类(天然林、人工林、农田),被分为两个哑变量(Dummy Variable),即“路边植被(1)”和“路边植被(2)”。天然林频数最高(52 个),作为哑变量的参照水平。路边植被(1)取值 1 时,为人工林;取值 0 时,为天然林。路边植被(2)取值 1 时,为农田;取值 0 时,为天然林。公路类型中,乡村公路作为哑变量参照水平。最终筛得路边植被类型一个变量。Nagelkerke $R^2 = 0.146$, Hosmer and Lemeshow Test $\chi^2 < 0.001$, $df = 1$, $P = 1.000$, ROC 曲线下面积 0.698 ± 0.069 (SE), $P = 0.009 < 0.05$,表明回归模型拟合度很高,对因变量的解释能力有限。拟合结果见表 3。

表 2 可能与蛇上公路位置有关的环境变量
Table 2 Environment variables that may affect the presence locations of snakes on roads

	所有样点 All points N = 87		路边植被不是天然林的样点 Points where roadside vegetation isn't natural forest N = 39	
	有蛇 Snake presence N = 19	无蛇 Snake absence N = 68	有蛇 Snake presence N = 14	无蛇 Snake absence N = 25
距村庄最近距离 Distance to nearest residence/m	314.7 ± 42.9 (SE)	404.9 ± 31.2 (SE)	321.4 ± 55.0 (SE)	274.8 ± 39.2 (SE)
距天然林最近距离 Nearest distance to natural forest/m	432.6 ± 80.5 (SE)	241.5 ± 40.7 (SE)	582.9 ± 74.8 (SE)	638.0 ± 46.9 (SE)
距人工林最近距离 Nearest distance to artificial woods/m	157.9 ± 41.8 (SE)	139.3 ± 11.9 (SE)	150.0 ± 55.3 (SE)	103.6 ± 22.9 (SE)
距农田最近距离 Nearest distance to farmland/m	307.4 ± 95.4 (SE)	570.0 ± 55.5 (SE)	85.7 ± 45.6 (SE)	69.2 ± 33.9 (SE)
距树林最近距离 Nearest distance to forest/m	113.7 ± 42.8 (SE)	45.0 ± 10.1 (SE)	150.0 ± 55.3 (SE)	103.6 ± 22.9 (SE)
上方林冠是否郁闭 Whether the canopy overshadows the point	是 2,否 17	是 17,否 51	是 1,否 13	是 0,否 25
公路类型 Road type	R12、S2、P5	R23、S24、P21	R12、S1、P1	R23、S1、P1
路边植被类型 Roadside vegetation type	N5、A7、F7	N43、A10、F15	A7、F7	A10、F15

R: 乡村公路,S: 次级公路,P: 主要公路; N: 天然林,A: 人工林,F: 农田

由表 3 知,路边植被类型为人工林和农田时,蛇上公路的频率都显著大于路边为天然林时。关于蛇上公路概率 y 的回归方程可写为:

$$\text{logit}(y) = -2.152 + 1.795 \times \text{路边植被}(1) + 1.390 \times \text{路边植被}(2)$$

既然人工林和农田蛇上路频率都高于天然林,那这二者之间有无差异?将路边为天然林的样点排除后,再次进行 Logistic 回归,结果 Forward LR 法没有筛选出任何自变量;说明路边植被是农田或人工林时,蛇上公路的频率无显著差别。

表 3 与蛇上公路地点有关的变量的 Logistic 回归结果

Table 3 Result of Logistic Regression about the variables related to the locations that snakes cross roads

	回归系数 B	S. E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
路边植被 Roadside vegetation			7.775	2	0.020	
路边植被(1) Roadside vegetation (1)	1.795	0.683	6.913	1	0.009	6.020
路边植被(2) Roadside vegetation (2)	1.390	0.658	4.462	1	0.035	4.013
常数项 Constant	-2.152	0.472	20.739	1	0.000	0.116

3.3 蛇上公路时间的影响因素分析

调查期间,有 1d(2008-05-01)记录到 3 条蛇被轧死,有 4d 记录到 2 条蛇,9d 记录到 1 条蛇,结果见表 4。多元线性回归结果,筛得两个自变量——2d 前最高温($b = -0.097 \pm 0.032$ [SE], $\beta = -0.380$, $t = -3.055$, $P = 0.004$)、2d 前最大湿度($b = 0.075 \pm 0.033$ [SE], $\beta = 0.285$, $t = 2.290$, $P = 0.026$)。二者的共线性容忍度分别为 0.14 和 0.51,表明它们与其它变量间基本不存在共线性。Adjusted $R^2 = 0.219$,可见模型拟合效果并不好;Durbin-Watson 值为 2.070,表明残差间相互独立。每日在公路上发现的蛇的数量 y 的回归方程可写为:

$$y = -3.758 - 0.097 \times 2d \text{ 前最高温} + 0.075 \times 2d \text{ 前最大湿度}$$

方程显示,两天前的最高温越低,最大湿度越大,蛇上公路的概率越大。

表 4 可能影响蛇上公路时间的环境因素

Table 4 The environment variables that may affect the presence time of snakes on roads

环境因素 Environment variables	当日记录到的蛇数量(平均值 $\pm$ 标准误) Number of snakes recorded of the day (Mean $\pm$ SE)			
	0, $N = 38$	1, $N = 9$	2, $N = 4$	3, $N = 1$
巡视总路程/km Total patrol distance/km	4.85 $\pm$ 0.33	5.00 $\pm$ 0.46	5.85 $\pm$ 1.48	6.50
公路边天然林比例 Proportion of natural forest along the road	0.23 $\pm$ 0.03	0.18 $\pm$ 0.06	0.13 $\pm$ 0.08	0.20
公路边农田比例 Proportion of farmland along the road	0.37 $\pm$ 0.02	0.41 $\pm$ 0.04	0.40 $\pm$ 0.06	0.40
当天最高温 The highest temperature of the day/ $^{\circ}\text{C}$	29.1 $\pm$ 0.5	28.4 $\pm$ 0.9	25.0 $\pm$ 1.5	33.0
当天最低温 The lowest temperature of the day/ $^{\circ}\text{C}$	18.3 $\pm$ 0.6	18.2 $\pm$ 1.7	12.8 $\pm$ 2.2	21.0
当天降雨 Precipitation of the day/cm	0.13 $\pm$ 0.08	0.26 $\pm$ 0.17	0 $\pm$ 0	0
当天平均湿度 Average humidity of the day/%	70.0 $\pm$ 1.0	72.9 $\pm$ 2.0	69.3 $\pm$ 1.3	61.0
当天最大湿度 Maximal humidity of the day/%	91.9 $\pm$ 0.5	94.2 $\pm$ 0.6	92.0 $\pm$ 1.7	89.0
当天最小湿度 Minimal humidity of the day/%	38.0 $\pm$ 2.6	40.1 $\pm$ 5.4	32.3 $\pm$ 9.3	26.0
1d 前最高温 The highest temperature one day before/ $^{\circ}\text{C}$	29.2 $\pm$ 0.4	27.7 $\pm$ 1.1	25.3 $\pm$ 1.9	29.0
1d 前最低温 The lowest temperature one day before/ $^{\circ}\text{C}$	18.3 $\pm$ 0.6	18.7 $\pm$ 1.6	13.0 $\pm$ 1.8	21.0
1d 前降雨 Precipitation one day before/cm	0.12 $\pm$ 0.05	0.14 $\pm$ 0.12	0 $\pm$ 0	0
1d 前平均湿度 Average humidity one day before/%	70.9 $\pm$ 1.0	73.1 $\pm$ 2.2	71.3 $\pm$ 1.9	70.0
1d 前最大湿度 Maximal humidity one day before/%	91.7 $\pm$ 0.4	92.1 $\pm$ 0.8	95.3 $\pm$ 0.3	89.0
1d 前最小湿度 Minimal humidity one day before/%	38.7 $\pm$ 2.6	42.8 $\pm$ 6.3	31.5 $\pm$ 7.3	44.0
2d 前最高温 The highest temperature two days before/ $^{\circ}\text{C}$	29.1 $\pm$ 0.4	27.7 $\pm$ 1.2	25.8 $\pm$ 1.5	24.0
2d 前最低温 The lowest temperature two days before/ $^{\circ}\text{C}$	18.2 $\pm$ 0.6	18.7 $\pm$ 1.8	13.3 $\pm$ 1.4	20.0
2d 前降雨 Precipitation two days before/cm	0.13 $\pm$ 0.05	0.04 $\pm$ 0.03	0 $\pm$ 0	0.70
2d 前平均湿度 Average humidity two days before/%	70.9 $\pm$ 1.0	74.2 $\pm$ 1.3	71.5 $\pm$ 0.9	83.0
2d 前最大湿度 Maximal humidity two days before/%	91.7 $\pm$ 0.4	94.0 $\pm$ 0.7	95.0 $\pm$ 0	91.0
2d 前最小湿度 Minimal humidity two days before/%	39.0 $\pm$ 2.6	43.9 $\pm$ 4.6	31.0 $\pm$ 4.7	74.0
3d 前最高温 The highest temperature three days before/ $^{\circ}\text{C}$	29.1 $\pm$ 0.4	27.2 $\pm$ 1.0	25.5 $\pm$ 1.4	27.0
3d 前最低温 The lowest temperature three days before/ $^{\circ}\text{C}$	18.2 $\pm$ 0.6	18.9 $\pm$ 1.6	13.0 $\pm$ 1.1	20.0
3d 前降雨 Precipitation three days before/cm	0.15 $\pm$ 0.05	0.20 $\pm$ 0.10	0 $\pm$ 0	0
3d 前平均湿度 Average humidity three days before/%	70.6 $\pm$ 1.1	75.9 $\pm$ 1.8	71.5 $\pm$ 2.3	71.0
3d 前最大湿度 Maximal humidity three days before/%	91.4 $\pm$ 0.6	93.1 $\pm$ 0.6	95.5 $\pm$ 0.5	86.0
3d 前最小湿度 Minimal humidity three days before/%	38.8 $\pm$ 2.6	48.2 $\pm$ 5.4	33.5 $\pm$ 4.9	50.0

4 讨论

4.1 影响蛇上公路地点的因素

研究结果显示天然林边蛇上公路的概率显著低于农田和人工林。美国的铜头蝮(*Agkistrodon contortrix*)会选择上方郁闭度高、车流量少、缺乏维护的老公路穿越^[14],但本研究并没有发现蛇上公路的地点与郁闭度和公路类型有关。美国草原上的牛蛇(*Pituophis catenifer*),在路两侧植被是禾草的地点上公路的概率显著高于路边植被是灌木的地点;此外,附近植被盖度越大,牛蛇在该地上公路的概率越大^[11]。虽然北美温带草原和勐腊的生境差异很大,但两地的蛇类有些习性可能还是相似的。之所以天然林边较少有蛇上公路,可能是因为林下植被较少,地面盖度较低,蛇在路边缺乏隐蔽,所以较少从这里上公路;农田生长有大量草本作物,更适宜蛇类隐蔽,因此农田边的公路上记录到更多的蛇;而人工林由于靠近农田,蛇类也经常光顾。不过,考虑到本研究所用数据只是 1a 调查所得,蛇个体数只有 20 条,且没有对沿线各植被类型内蛇密度进行统计,所以蛇上公路的概率是否真的在天然林边较低,还有待斟酌。

4.2 影响蛇上公路时间的因素

研究结果显示,2d 前的低温和高湿度可以导致蛇上公路的概率增大。在温带,获取足够的热量是蛇类最主要的任务之一,因此北美和欧洲的研究结果大都显示温度是影响蛇类活动性的首要因素;但是在热带森林地区,温度比较适宜,因此蛇类活动就开始受到其它一些因素的影响。比如在马来西亚,红口蝮(*Calloselasma rhodostoma*)种群每晚进行活动的个体数和其平均移动距离只与当晚的相对湿度高度相关,而与降雨量、温度、月光量等因素都不显著相关^[15];而在澳大利亚北部热带地区,几种蛇类在道路上的遇见率都与气候因素相关,但随种类不同,与之有关的气候变量也不同,比如水岩蟒(*Liasis fuscus*)的活动性与月光量有关,而棱鳞水蛇(*Tropidonophis mairii*)则与温度有关^[16]。勐腊的温度没有赤道地区那样恒定,研究期间最低温达到 7℃(2008-12-02),因此蛇类的活动还是受到了温度的一些影响;温度低时,蛇可能会于清晨到路面取暖,从而导致被轧死的概率增加;也可能由于低温导致行动迟缓,对车辆躲闪不及;也可能自 10 月末或 11 月开始,温度的降低启动了蛇的某些生理反应,使其认为冬季将至,四出寻找庇护,从而导致上公路机会增加——勐腊的蛇类虽不冬眠,但是通过访谈当地村民,得知每年春节前都有一段时期蛇类很少,可能是蛰伏在某些地点以躲避低温。但湿度也显著影响着蛇类的活动,雨林地区的蛇类需要较高的湿度,当湿度低时,蛇类为防止失水蜷缩身体;只有当湿度达到一定程度时才伸展身体开始移动^[15];随着蛇活动量的增加,接触公路的概率也增大;因此本研究结果显示,湿度而非降水增大使得公路上记录到蛇的概率增加,与热带地区的研究结果相符。

研究期间公路上记录到的 17 条死蛇中除 6 条可能于前 1d 被轧死外,其余都可以根据发现时间和尸体新鲜程度判定为当天被轧死;因此推测公路上的蛇数量可能与当天或 1d 前气候有关;但统计结果却显示与 2d 前的最高温和最大湿度显著相关,对此笔者推测可能该地区的蛇类对于气候变化有一定的滞后性,或是还存在其它未知的环境变量。此外,不同种类的蛇,受各种气候因素的影响也不同,将所有种类混为一谈可能不妥;同一种蛇,在不同季节,由于生理需求的不同(求偶、繁殖、扩散等),本身的活动性就存在差异,对气候因素的反应也不同;而本研究样本量较少,特别是 6—7 月份的数据缺失,因此可能导致一些规律没能被发现;这需要日后长期的观测才能解决。

4.3 小磨公路对不同蛇类的影响

蛇类受公路的威胁程度与其习性有关,在公路上记录的 10 种蛇中,最多的是红脖颈槽蛇(*Rhabdophis subminiatus*)和灰鼠蛇(*Ptyas korros*),各有 5 条(包括活体和公路上尸体);它们都是偏昼行性、喜开阔生境并常在人类聚居地附近出没的种类,因此最常出现在公路上。过树蛇(*Dendrelaphis pictus*)虽然树栖,但活动性很强,常四处游荡,且为昼行,因此易上公路;但由于其行动敏捷,被轧死的概率可能相对较小。颇感意外的是绿林蛇(*Boiga cyanea*),严格的夜行树栖蛇类,却是公路上记录数第三多的种类,上公路的时间并不集中(2008-05-01, 08-29, 11-19),并且 1 次记录(2008-11-19)是 15:17 见到的刚刚被轧死的成年个体,而当时正是光照最强烈的时刻;该物种自 1984 年根据云南大学来源不明的标本确定为中国新记录以来^[17],国内还未有

正式发表的记录,但根据公路上的记录数推测,至少在研究地点附近可能还有一定的数量。三索锦蛇(*Elaphe radiata*)是西双版纳体型第三大的蛇类,在当地其它公路和森林中都被记录到,但在研究地点 1a 内仅记录到 1 次;国外研究显示,大型蛇类上公路的频率应该远大于小型蛇类^[8],但研究期间并没有记录到更多的大型种,这可能因为当地风俗认为开车时轧死蛇不吉利,所以司机见到蛇就会避让;大型种易见,因此被轧到的概率相对较低。闪鳞蛇(*Xenopeltis unicolor*)在中国濒危动物红皮书中被列为“濒危”级^[18],但其夜行半地下生活的特点使其受公路影响相对较小,公路上唯一的一次记录(2008-09-06)是在连续 3d 降雨后;习性近似的紫棕小头蛇(*Oligodon swinhonis*),唯一的一次记录(2008-09-08)也是在大雨中爬上路面。黑纹颈槽蛇(*R. nigrocincta*)在中国仅见于滇南地区^[13],在公路上也有记录。还有金花蛇(*Chrysopelea ornata*),中国濒危动物红皮书列为“极危”级,一个多世纪以来标本仅约 10 号^[18],此次研究虽未在小磨公路附近发现,但在更北方的望天树景区外的公路上记录到一只被轧死的幼蛇(2008-09-024)。此外,在距研究区域较远的西双版纳其它公路上还记录到眼镜王蛇(*Ophiophagus hannah*)。因此,对该地蛇上公路的研究具有很大的实际意义,如能确定蛇在何时何地最易上公路,则可以保护这些稀有的种类。此外,在 12 月份时还见到国家 I 级保护动物圆鼻巨蜥(*Varanus salvator*)爬上路基晒太阳的新鲜痕迹,推测为晚间太冷,因此在上午太阳初现时,爬上无遮挡的路基沙滩,如能在冬季持续监测,则也会对该物种的保护产生重大价值。

4.4 对公路管理的建议

根据本文结果,对未来的公路建设提出以下建议:公路下多设立涵洞——利于爬行类通行;此外,涵洞等也可以成为中小型兽类穿越公路的重要通道,对保护其它濒危陆生动物有重要意义;有研究建议涵洞和其它小型通道每公里 1—2 座,以方便小型动物^[19]。观察中还发现,每年 11 月至翌年 1 月蛇上公路的概率似乎较大,而且由于此时河水水位较低,夜间行人较少,穿越公路的兽类可能也较多;因此建议先采取一定措施,在 11—1 月份限制该路段的车速,减少该区域的大规模工程,同时开展长期监测,通过大量数据,求出蛇及其它动物上公路频率最高的时期,以便采取相应的保护措施。

致谢:西双版纳国家级自然保护区尚勇保护所波糯叫给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Dai Q, Yuan Z P, Zhang J D, Yang Y, Zhang M, Zhang Q, Gu H J, Liu Z J, Jian Y, Wang Y Z. Road and road construction effects on habitat use of small mammals and birds in Zoige alpine wetland. *Biodiversity Science*, 2006, 14 (2): 121-127.
- [2] 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.
- [3] Yang S M, Huai H Y, Zhang Y L, Yin B F, Zhou L, Wei W H. Effects of railway traffic on the community structure of rodents in warm steppe along the Qinghai-Tibet railway. *Acta Theriologica Sinica*, 2006, 26 (3): 267-273.
- [4] Yin B F, Huai H Y, Zhang Y L, Zhou L, Wei W H. Influence of Qinghai-Tibetan railway and highway on wild animals' activity. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (12): 3617-3923.
- [5] Pan W, Lin L, Luo A, Zhang L. Corridor use by Asian elephants. *Integrative Zoology*, 2009, 4: 220-231.
- [6] Rosen P C, Lowe C H. Highway mortality of snakes in the Sonoran desert of southern Arizona. *Biological Conservation*, 1994, 68: 143-148.
- [7] Smith L L, Dodd C K Jr. Wildlife mortality on U. S. Highway 441 across Paynes Prairie, Alachua County, Florida. *Florida Scientist*, 2003, 66 (2): 128-140.
- [8] Andrews K M, Gibbons J W. Dissimilarities in behavioral responses of snakes to roads and vehicles have implications for differential impacts across species. [2010-2-15]. <http://www.escholarship.org/uc/item/9j69w675>.
- [9] Shine R, Lemaster M, Wall M, Langkilde T, Mason R. Why did the snake cross the road? Effects of roads on movement and location of mates by garter snakes (*Thamnophis sirtalis parietalis*). *Ecology and Society*, 2004, 9 (1): 9. [2010-2-15]. <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art9>.
- [10] Roe J H, Gibson J, Kingsburg B A. Beyond the wetland border: Estimating the impact of roads for two species of water snakes. *Biological Conservation*, 2006, 130: 161-168.
- [11] Jochimsen D M. Factors influencing the road mortality of snakes on the Upper Snake River Plain, Idaho. [2010-2-15]. <http://www>.

escholarship.org/uc/item/2rm731ww.

- [12] Guyot G, Clobert J. Conservation measures for a population of Hermann's tortoise *Testudo hermanni* in Southern France bisected by a major highway. *Biological Conservation*, 1997, 79: 251-256.
- [13] He X R, Zhou X Q. The fauna and geographic units of reptiles in Yunnan Province. *Sichuan Journal of Zoology*, 2002, 21 (3): 161-169.
- [14] Titus V R, Zimmerer E D. Road effects on a population of copperhead snakes in the land between the Lakes National Recreation Area, K. Y. [2010-2-15]. <http://www.escholarship.org/uc/item/1df0d791>.
- [15] Daltry J C, Ross T, Thorpe R S, Wuster W. Evidence that humidity influences snake activity patterns: a field study of the Malayan pit viper *Calloselasma rhodostoma*. *Ecography*, 1998, 21: 25-34.
- [16] Brown G P, Shine R. Influence of weather conditions on activity of tropical snakes. *Austral Ecology*, 2002, 27: 596-605.
- [17] Jiang Y M, Huang Q Y. A new recorded species of Opisthoglypha in China, *Boiga cyanea*. *Acta Herpetologica Sinica*, 1984, 3 (2): 14.
- [18] Zhao E M ed. China Red Data Book of Endangered Animals: Amphibians & Reptiles. Beijing: Science Press, 1998.
- [19] Mata C, Hervas I, Herranz J, Suarez F, Malo J E. Complementary use by vertebrates of crossing structures along a fenced Spanish motorway. *Biological Conservation*, 2005, 124: 397-405.

参考文献:

- [1] 戴强, 袁佐平, 张晋东, 杨勇, 张明, 张强, 顾海军, 刘志君, 骞依, 王跃招. 道路及道路施工对若尔盖高寒湿地小型兽类及鸟类生境利用的影响. *生物多样性*, 2006, 14(2): 121-127
- [2] 裘丽, 冯祚建. 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
- [3] 杨生妹, 淮虎银, 张德锂, 殷宝法, 周乐, 魏万红. 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. *兽类学报*, 2006, 26(3): 267-273
- [4] 殷宝法, 淮虎银, 张德锂, 周乐, 魏万红. 青藏铁路、公路对野生动物活动的影响. *生态学报*, 2006, 26(12): 3617-3923
- [13] 何晓瑞, 周希琴. 云南省爬行动物区系及地理区划. *四川动物*, 2002, 21(3): 161-169
- [17] 江耀明, 黄庆云. 我国后沟牙类一种新记录——绿林蛇. *两栖爬行动物学报*, 1984, 3(2): 14
- [18] 赵尔宓主编. 中国濒危动物红皮书——两栖类和爬行类. 北京: 科学出版社, 1998.

附录 I 研究期间记录到的在公路及周边地区活动的爬行动物种类

Appendix Reptile species recorded on and around the roads during the survey period

种类 Species	研究区域公路上 记录到的数量 Number recorded on the studied roads	种类 Species	研究区域公路上 记录到的数量 Number recorded on the studied roads
1 灰鼠蛇 <i>Ptyas korros</i>	5	2 红脖颈槽蛇 <i>Rhabdophis subminiata</i>	5
3 绿林蛇 <i>Boiga cyanea</i>	3	4 钝头蛇 <i>Pareas chinensis</i>	2
5 过树蛇 <i>Dendrelaphis pictus</i>	2	6 闪鳞蛇 <i>Xenopeltis unicolor</i>	1
7 三索锦蛇 <i>Elaphe radiata</i>	1	8 紫棕小头蛇 <i>Oligodon swinhonis</i>	1
9 黑纹颈槽蛇 <i>Rhabdophis nigrocincta</i>	1	10 银环蛇 <i>Bungarus multicinctus</i>	1
11 绿瘦蛇 <i>Ahaetulla prasina</i>	—	12 白眉腹链蛇 <i>Amphiesma boulengeri</i>	—
13 金花蛇 <i>Chrysopelea ornata</i>	—	14 黑头剑蛇 <i>Sibynophis chinensis</i>	—
15 圆鼻巨蜥 <i>Varanus salvator</i>	3	16 棕背树蜥 <i>Calotes emma</i>	2
17 丽棘蜥 <i>Acanthosaura lepidogaster</i>	—	18 斑飞蜥 <i>Draco maculatus</i>	—
19 大壁虎 <i>Gekko. gekko</i>	—	20 截趾虎 <i>Gehyra mutilata</i>	—
21 原尾蜥虎 <i>Hemidactylus bowringii</i>	—	22 铜蜓蜥 <i>Lygosoma indicum</i>	—
23 长肢滑蜥 <i>Scincella doriae</i>	—		

— 表示该种类并未在所研究的 3 条公路上记录到,但记录于公路周边地区

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元