

DOI: 10.5846/stxb201306241771

龚明昊, 欧阳志云, 徐卫华, 宋延龄, 戴波. 道路影响下野生动物廊道的选址——以大熊猫保护廊道为例. 生态学报, 2015, 35(10): 3447-3453.
Gong M H, Ouyang Z Y, Xu W H, Song Y L, Dai B. The location of wildlife corridors under the impact of road disturbance: case study of a giant panda conservation corridor. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(10): 3447-3453.

道路影响下野生动物廊道的选址 ——以大熊猫保护廊道为例

龚明昊^{1,2,*}, 欧阳志云², 徐卫华², 宋延龄³, 戴波⁴

1 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091

2 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

3 中国科学院动物研究所, 北京 100101

4 四川省林业厅野生动物保护站, 成都 610081

摘要:沿道路设置供野生动物迁徙、扩散和连接栖息地的廊道是应对道路干扰最有效的措施, 科学选址则是野生动物廊道建设的前提, 也是廊道研究的薄弱领域。以大熊猫廊道为例对野生动物廊道选址指标体系、方法和程序进行了探索, 将栖息地特征、地形因素、植被可转化性、工程成本作为大熊猫廊道选址指标, 基于 Arcgis 和栖息地格局、海拔、坡度、植被数据, 为四川 306 省道椅子垭口段确定了两处大熊猫廊道位置, 并用监测数据证明了所选位置具有较大的可行性和准确性。研究表明栖息地格局是廊道选址的重要基础, 应侧重对地形因素的研究。研究为廊道选址方法和流程进行了示范, 还对选址指标体系优化、提高选址的科学性进行了探讨, 有助于推动野生动物廊道研究从理论探索走向实际应用。

关键词:野生动物廊道; 选址; 指标; 方法; 大熊猫

The location of wildlife corridors under the impact of road disturbance: case study of a giant panda conservation corridor

GONG Minghao^{1,2,*}, OUYANG Zhiyun², XU Weihua², SONG Yanling³, DAI Bo⁴

1 Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

4 Wildlife Conservation Station, Sichuan Forestry Department, Chengdu 610081, China

Abstract: Road construction has made it easier for human activity to greatly affect wildlife habitats and it has become the most urgent and essential issue for wildlife survival. Due to highway and railway construction, giant pandas have been isolated into 24 (33) separate populations and have disappeared in some areas. Responding to road disturbance by building corridors for wildlife migration allowing the expansion and connection of habitats along the road has become the most effective conservation measure. Previous corridor studies achieved a lot in determining its types, designing principles and procedures, but location was not studied. Due to the unscientific process of determining location, some “ecological roads” with wildlife corridors still do harm to wildlife. Scientific determination of location is the premise for the construction of a wildlife corridor which can function when located in the right place. Taking the case of the conservation corridor of the giant panda, our study focused on the indicators, method and procedure of site selection for the wildlife corridor. Based on previous studies on the indicators of wildlife corridors and the concept of crucial area in conservation biology, we proposed

基金项目:博士后基金(2012M510568); 国家林业局“大熊猫廊道及栖息地改造工程选址原则和标准”

收稿日期:2013-06-24; **网络出版日期:**2014-05-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gongmh2005@hotmail.com

possible indicators for site selection of the giant panda corridor: habitat feature, topography, probability of vegetation transformation and construction cost feasibility. With the results of the habitat assessment, we employed Arcgis to analyze the habitat pattern, elevation, slope and vegetation according to the following procedure: the distance between suitable habitat on both sides of the road, topographic features of elevation and slope, and vegetation. We identified two ideal positions for a giant panda corridor along the Sichuan 306 provincial way of Yiziyakou. By testing with monitoring data and records, we found feces and trails in areas adjacent to our identified positions. It proves that the corridor selection position is feasible and reasonable. Our study found that the pattern of giant panda habitat had undergone great changes through the disturbance caused by the 306 provincial way in the study area, with a ten percent decline in the proportion of suitable habitat producing a 1.5 km wide isolated area without habitat along the road. It is shown to be necessary to build corridors for alleviating road impacts on these habitats. Our study also shows that habitat pattern is an important basis for corridor location and should focus on topographic factors, which cannot be transformed, among all the habitat factors. With differences in target species and protected animals, the indicators and threshold values of corridor location also need to be adjusted, enriched and optimized. We demonstrated a method and procedure for corridor location which can contribute further to the practical application of wildlife corridors using the theoretical research.

Key Words: wildlife corridor; location; indicator; method; giant panda

道路极大地增加了人类活动进入野生动物栖息地的机会,除导致野生动物伤亡、栖息地破碎和种群隔离外,还增加小种群出现和物种灭绝的几率^[1],成为威胁野生动物生存安全最重要和紧迫的因素^[2,3]。由于公路和铁路修建,野生大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)形成了24个(33个)相互隔离的种群,并在局部地区消失^[4-7]。面对道路干扰,沿道路设置供野生动物迁徙、扩散、交流和连接两旁栖息地的廊道就成为最有效的保护措施^[8-10],尤其对大型野生动物更为有效^[11]。

野生动物廊道研究在国外起步较早、成果丰富。Newmark 等对廊道的主要因素、形状、宽度、类型和适宜物种等方面做了大量研究^[12-14],Lindenmayer 和 Bond 把道路、灯光、噪声等干扰因素纳入了廊道研究,进一步提出了廊道设计原则、步骤和流程,并把监测引入廊道管理,使廊道从理论研究向实际应用发展^[15-16]。我国学者对大熊猫、亚洲象的保护廊道开展过初步研究^[17-18],制定了陆生野生动物廊道设计技术规程(LY/T2016—2012)^[19],但总体上侧重理论探讨和廊道类型设计,对选址很少涉及,导致一些建成有廊道的“生态公路”仍然对野生动物造成伤害、廊道利用率较低的现象^[20-21]。

作为应对道路干扰的有效措施,野生动物廊道需要设置在正确位置才会被利用和发挥功能。由于廊道选址研究相对薄弱和滞后,没有相关选址指标体系和研究方法供参考。本研究拟以大熊猫栖息地内、四川306省道椅子垭口段及周边路网为例,研究道路影响下大熊猫保护廊道的选址和主要指标,并以此探索野生动物廊道的选址指标体系、方法和程序。

1 研究区域及研究道路

研究区域为四川美姑县和峨边县交界的椅子垭口及周边地区,研究路段为四川306省道从峨边县勒乌乡穿越椅子垭口后进入美姑县依果觉乡之间的路段。为增加研究效果,还将椅子垭口周边路网也纳入研究路段(图1)。研究区域北为峨边黑竹沟自然保护区、南为美姑大风顶自然保护区,海拔区间1600—3600 m,该区域是大熊猫栖息地,也是凉山山系大熊猫种群交流、扩散的重要区域^[18]。除大熊猫外,该区域还分布有豹、林麝、牛羚、藏酋猴、红腹角雉、白鹇等珍稀、濒危物种,生物多样性丰富。306省道是研究区域的公路干道,人流、物流频繁,日均过往车辆50—100辆,是当地群众生产、生活的主要交通设施,对大熊猫及栖息地干扰较大(图2)。

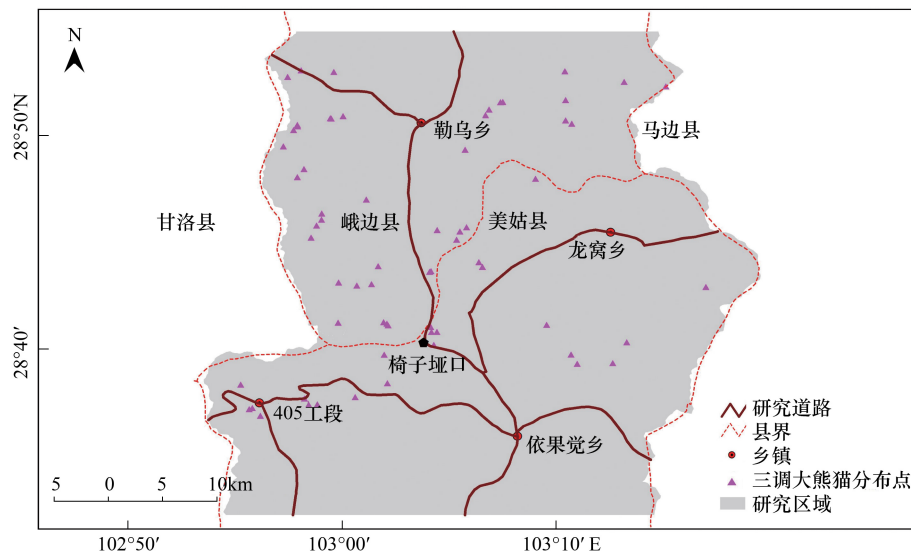


图1 研究区域及研究路网

Fig.1 The study road network and study area

2 研究方法和数据

2.1 方法

野生动物廊道应优先考虑目标物种的种群生态、生境需求、取食要求、行为及与其它物种的相互关系^[12,22],是否满足目标物种的生存需求则是确定廊道位置的主要依据^[23]。保护生物学中的“关键区域”也给野生动物廊道选址以启示^[10,24-25],对因道路交通造成栖息地破碎和种群隔离的现象,可在对种群交流、扩散和栖息地连接有重要作用的关键区域设置廊道、实施保护项目,使有限的保护资源通过关键区域对目标物种进行保护,能最大程度降低保护成本、提高保护成效。基于已有廊道、关键区域研究和陆生野生动物廊道设计技术规程,假设大熊猫廊道选址应同时考虑以下指标、各指标对选址的影响相同:

(1) 栖息地特征 拟建廊道区域周边应有较丰富的大熊猫优质栖息地^[23],该区域原本为大熊猫适宜栖息地,因道路干扰造成栖息地破碎和质量下降。

(2) 地形因素 拟建廊道区域必须满足目标动物对适宜地形特征的要求,如海拔、坡度等因素^[15,24,26]。

(3) 植被的可转化性 拟建廊道区域周边必须有大熊猫适宜植被分布,立地条件可以满足现有植被通过自然或人工辅助演替为适宜植被类型^[14,27]。

(4) 工程成本可行性 拟建廊道区域应为被道路隔离后优质栖息地分布距离较近的区域,无论是实施栖息地恢复或建设工程廊道(桥梁、隧道)都为成本较低的方案^[28-29]。

基于以上假设和标准,根据大熊猫对研究区域自然环境的利用特性,首先进行栖息地评估、了解道路影响下栖息地的分布格局,然后结合地形特征、植被状况和种群分布等确定保护廊道建设的地点,最后用该区域2008—2010年的大熊猫监测数据对所选定廊道位置的有效性进行验证^[11]。大熊猫栖息评估基于 Ron & Jyrki、欧阳志云等所用模型完成^[30-31];通过 Arcgis 对栖息地、植被、海拔、坡度等图层叠加,根据以上标准比选出道路沿线最适合建廊道的位置。

2.2 数据

研究区域栖息地评估所用植被数据来自黑竹沟保护区和大风顶保护区已完成的科学考察报告成果;坡度、海拔等图层基于研究区域 1:50 000 等高线的 DEM(30 m×30 m)生成;大熊猫对植被、海拔、坡度的选择特性参考该区域已有研究成果^[32-33],根据对大熊猫的适宜性分为 4 类;道路影响数据基于国家林业局 SD0624 项目成果,按与道路距离分 4 类(表 1)。该区域 2008—2010 年的大熊猫监测数据来自黑竹沟和大风顶自然

保护区常规监测项目。

表 1 研究区域植被、海拔、坡度和道路对大熊猫的适宜性和影响

Table 1 The suitability and impact of vegetation, elevation, slop and road on giant panda in study area				
等级 Level	植被 Vegetation	海拔/m Elevation	坡度/(°) Slop	与道路距离影响/m Impact of road
4	寒温性针叶林	2700—3000	5—10	>1300
3	温性针阔叶混交林	2600—2700	10—30	800—1300
	落叶阔叶灌丛	3000—3100		
2	暖性针叶林草甸	2500—2600	0—5	400—800
		3100—3200	30—45	
1	常绿落叶阔叶混交林	1600—2400	45—90	0—400
	常绿阔叶林	3300—3500		
	农耕地			

3 研究结果

3.1 研究区域大熊猫栖息地和种群格局

有、无道路干扰下的大熊猫栖息地评估结果表明研究区域大熊猫栖息地分为一般、较适宜和适宜栖息地三类。较大尺度下、道路对整个研究区域大熊猫栖息地的影响并不明显,道路干扰下适宜栖息地比没有道路干扰下少 3787.11 hm²,仅占研究区域总面积的 2.5%;但小尺度下、道路则对其邻近区域的栖息地格局则产生了重大影响,对距离道路 1300 m(道路影响最小等级)范围内的大熊猫栖息地构成分析表明:道路影响下的适宜栖息地和较适宜栖息地面积减少 9567.18 hm²,占道路两侧 1300 m 范围总面积的 25.8%,适宜栖息地的比例下降 10 个百分点,变化极为显著,沿道路形成了一宽约 1.5 km 的隔离带(表 2,图 2)。在邻近道路区域(0—400 m)由于干扰严重所有的栖息地都变成了一般栖息地,在距离道路较远区域(400—800 m、800—1300 m)内的部分适宜栖息地变成了较适宜栖息地、较适宜栖息地则变成了一般栖息地,其格局发生了重大变化。

研究区域、特别是椅子垭口为周边地区大熊猫交流、扩散的重要区域,由于道路交通的严重影响,导致大熊猫种群在一定程度上也呈现隔离的状况,全国第三次大熊猫调查表明 306 省道从勒乌乡至椅子垭口一线以西 4 km 范围内没有大熊猫分布,形成了沿道路东、西隔离的现象;依果觉乡至龙窝乡道路以南 6 km 范围内均

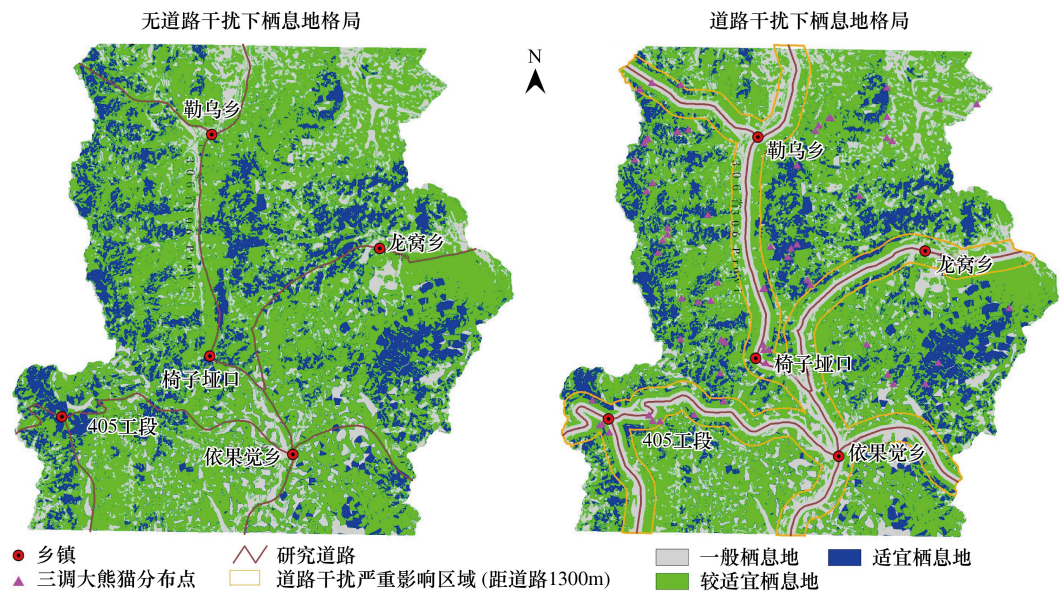


图 2 研究区域有、无道路干扰下的栖息地格局
Fig.2 The habitat pattern with or without road disturbance

没有大熊猫分布(图2)。

表 2 研究区域及研究道路周边栖息地格局

栖息地类型 Habitat type	研究区域的大熊猫栖息地构成 The pattern of giant panda habitat in study area				研究道路两侧 1300 m 范围内的大熊猫栖息地构成 The habitat pattern of adjacent region within 1300 m to study roads			
	无道路干扰下 Habitat without road disturbance		道路干扰下 Habitat with road disturbance		无道路干扰下 Habitat without road disturbance		道路干扰下 Habitat with road disturbance	
	面积/hm ² Area	%	面积/hm ² Area	%	面积/hm ² Area	%	面积/hm ² Area	%
一般栖息地 The fair habitat	27117.54	18.01%	36685.44	24.37%	8160.21	22.02%	17727.39	47.82%
较适宜栖息地 The sub-suitable habitat	94253.13	62.62%	88472.34	58.78%	22889.16	61.74%	17109.09	46.15%
适宜栖息地 The suitable habitat	29154.42	19.37%	25367.31	16.85%	6021.45	16.24%	2234.34	6.03%
总和 Total	150525.09		150525.09		37070.82		37070.82	

3.2 大熊猫保护廊道选址

基于所假设选址标准和道路影响下的栖息地格局发现研究道路两侧适宜栖息地斑块较近、距离≤2 km 的地点为甲瓦村、太阳坪、椅子垭口、依吾村、马鞍山(图3)。对5地的地形特征分析,发现甲瓦村(1900—2200 m)、依吾村(1800—2100 m)和马鞍山(3000—3300 m)的海拔为大熊猫不喜选择的区间,太阳坪(2400—2900 m)、椅子垭口(2700—3000 m)为大熊猫适宜的海拔区间;甲瓦村、依吾村(25—30°)坡度相对陡峻,太阳坪、椅子垭口和马鞍山3地大部分坡度处于大熊猫适宜坡度的范围(5—10°)。植被是大熊猫栖息地演替和恢复的重要基础,目前甲瓦村周边分布有大面积的农耕地,马鞍山海拔较高、分布有较大面积的高山草甸,现有植被演替为大熊猫适宜植被的可能性较低、可转化性较差;太阳坪、椅子垭口和依吾村3地周边均有该区域大熊猫最喜选择的寒温性针叶林分布,由于立地条件适宜,其余植被主要为落叶阔叶灌丛、温性针阔叶混交林,可以通过自然或人工辅助演替为大熊猫的适宜植被(图3)。

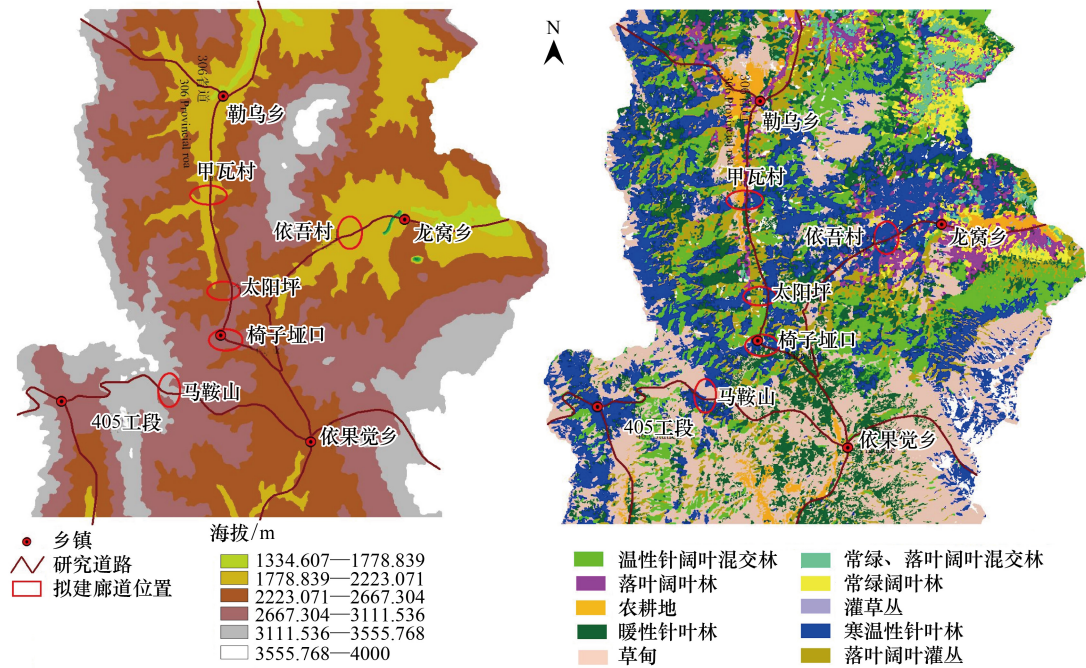


图 3 拟建廊道位置的海拔和植被状况

Fig.3 The elevation and vegetation in the site of proposal corridors

基于以上分析,确定太阳坪、椅子垭口为设置大熊猫保护廊道的理想位置,依吾村为次适宜位置,甲瓦村和马鞍山不适合设置廊道。以粪便代表大熊猫活动痕迹,黑竹沟保护区和大风顶保护区在 2008—2010 年大熊猫及栖息地监测中分别在太阳坪、椅子垭口及周边都发现了大量大熊猫粪便,马鞍山东北部仅在 2009 年发现过粪便,甲瓦村、依吾村在连续 3a 的监测中均没有发现痕迹信息(图 4)。监测结果说明在道路持续干扰下大熊猫仍然选择该区域活动,太阳坪、椅子垭口确有大熊猫适宜的自然和生物环境,大熊猫扩散、迁徙可以选择该区域作为通道,在此建设廊道具有较大的可行性和合理性。

4 讨论

(1) 大熊猫廊道选址研究的意义

作为一种保护对策,已有研究侧重大熊猫廊道的规划、确定哪些区域需要建设廊道,但这些区域范围较大、有的超过 100 km²,由于资源有限、不可能全部区域开展保护工程,导致所提出的保护廊道无法实施和建设^[18,28-29]。本研究首次对大熊猫保护廊道选址的指标、程序进行了探索和验证,确定了廊道建设可实施的地点,有助于使廊道从一理论研究的保护对策走向实际应用,对提高大熊猫保护成效有积极意义,也为野生动物廊道选址方法和指标体系研究提供了经验和示范。

(2) 廊道选址指标优化

基于监测数据对选址的验证,表明本研究所提假设和指标具有一定的合理性。除本研究所提指标外,廊道选址还与干扰状况、食物分布、社会经济等因素有关,在实际选址中应对以上因素综合考虑^[16],进一步提高选址的科学性和合理性。任何给定的廊道只能为一个或几个目标物种提供通道或栖息地连接功能,保护对象不同,廊道指标体系和阈值也有所差异,廊道所需宽度和形状变化较大^[13-15,19,23],需要根据目标动物的生物学特性进行调整。在本研究指标体系确定的廊道对黑熊、羚牛的保护有积极意义,但对藏酋猴、红腹角雉、白鹇的保护效果可能有限。

(3) 如何提高廊道选址的准确性

为避免廊道建设的重大损失,从理论上提高选址的准确性是最有效的措施。由于道路干扰,野生动物对临近道路的栖息地会产生回避效应,从而造成种群隔离和栖息地破碎^[3]。认识、理解道路影响下的栖息地格局是廊道选址的重要基础,所有与栖息地评估相关的微生境因子选择、地形和植被数据的准确性、评估参数是否全面等都直接关系评估结果和廊道选址的准确性。地形是野生动物栖息地因素中唯一不具可转化性的因子,Lindenmayer 也认为廊道的地形非常重要、要具有景观上的连接作用^[15],廊道选址应侧重对地形因素的研究。

致谢:感谢峨边黑竹沟自然保护区周龙对本研究的支持。

参考文献 (References):

- [1] Trombulak S C, Frissell C A. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 2000, 14(1):

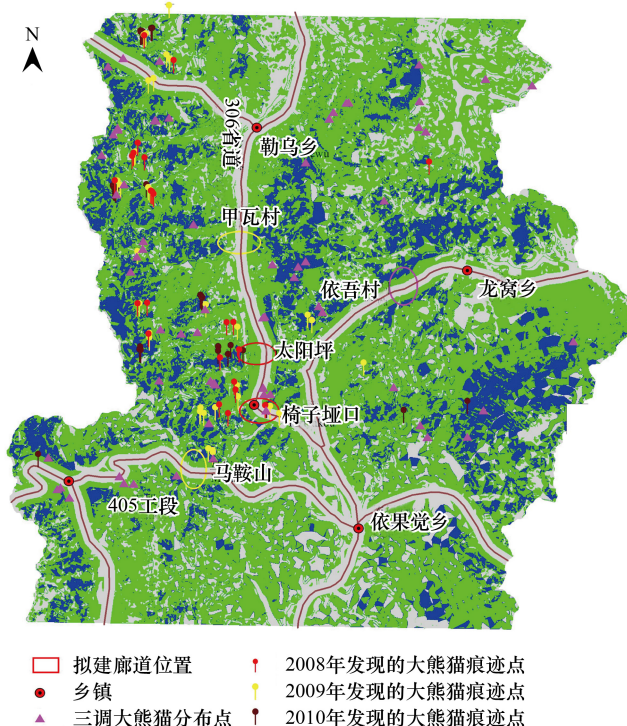


图 4 监测表明大熊猫利用了拟建廊道及周边地区

Fig.4 Showing the condition of giant panda used the proposal corridors and its adjacent region by monitoring

18-30.

- [2] Forman R T T. Road ecology: A solution for the giant embracing us. *Landscape Ecology*, 1998, 13(4): iii-v.
- [3] Alisa W C. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 2007, 15(5): 396-406.
- [4] 严旬. 野生大熊猫现状、面临的挑战及展望. *兽类学报*, 2005, 25(4): 402-406.
- [5] O'Brien S J, Pan W S, Lü Z. Pandas, people and policy. *Nature*, 1994, 369(6477): 179-180.
- [6] 国家林业局野生动植物保护与自然保护区管理司. 全国大熊猫保护工程规划(2011—2020 年).
- [7] 胡锦矗. 大熊猫研究. 上海: 上海科技教育出版社, 2001.
- [8] Merriam G. Connectivity: A fundamental ecological characteristic of landscape pattern // Brandt J, Agger P, eds. *Methodologies in Landscape Ecological Research and Planning, Proceedings of the First International Seminar of the International Association of Landscape Ecology*. Denmark: Roskilde, 1984: 5-15.
- [9] Goosem M. Effects of tropical rainforest roads on small mammals: inhibition of crossing movements. *Wildlife Research*, 2001, 28(4): 351-364.
- [10] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第二版). 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [11] 李正玲, 陈明勇, 吴兆录. 生物保护廊道研究进展. *生态学杂志*, 2009, 28(3): 523-528.
- [12] Newmark W D. The role and design of wildlife corridors with examples from Tanzania. *Ambio*, 1993, 22(8): 500-504.
- [13] Harrison R L. Toward a theory of inter-refuge corridor design. *Conservation Biology*, 1992, 6(2): 293-295.
- [14] Laurance S G, Laurance W F. Tropical wildlife corridors: use of linear rainforest remnants by arboreal mammals. *Biological Conservation*, 1999, 91(2/3): 231-239.
- [15] Lindenmayer D B, Nix H A. Ecological principles for the design of wildlife corridors. *Conservation Biology*, 1993, 7(3): 627-630.
- [16] Bond M. *Principles of Wildlife Corridor Design* [D]. Tucson: Center for Biological Diversity, 2003.
- [17] 陈明勇. 中国亚洲象保护廊道研究. 昆明: 云南科学技术出版社, 2010.
- [18] 龚明昊, 于长青. 大熊猫走廊带研究. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [19] 国家林业局. 陆生野生动物廊道设计技术规程(LY/T2016-2012). 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [20] 陈志展, 蔡荣坤. 公路对野生动物影响和保护措施研究. *广东交通职业技术学院学报*, 2011, 10(2): 21-25.
- [21] 潘文婧, 张立, 李国锋, 昂洪生, 罗爱东, 董永华. 思小高速公路对亚洲象迁移的影响 // 野生动物生态与资源保护第三届全国学术研讨会论文摘要集. 北京: 中国动物学会, 2006: 36-36.
- [22] Fleury A M, Brown R D. A framework for the design of wildlife conservation corridors with specific application to southwestern Ontario. *Landscape and Urban Planning*, 1997, 37(3/4): 163-186.
- [23] Hobbs R J. The role of corridors in conservation: Solution or bandwagon? *Trends in Ecology and Evolution*, 1992, 7(11): 389-392.
- [24] Jenness J. Some Thoughts on Analyzing Topographic Habitat Characteristics. Jenness Enterprises(www.jennessent.com), Arizona, USA. 2007.
- [25] 田兴军. 生物多样性及其保护生物学. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [26] Ricketts T H. The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes. *American Naturalist*, 2001, 158(1): 87-99.
- [27] Rouget M, Cowling R M, Lombard A T, Knight A T, Kerley G I H. Designing large-scale conservation corridors for pattern and process. *Conservation Biology*, 2006, 20(2): 549-561.
- [28] Gong M H, Song Y L. Giant panda habitat networks and conservation: is this species adequately protected? *Wildlife Research*, 2010, 37(6): 531-538.
- [29] Xu W H, Ouyang Z Y, Viña A, Zheng H, Liu J G, Xiao Y. Designing a conservation plan for protecting the habitat for giant pandas in the Qionglai Mountain range, China. *Diversity and Distributions*, 2006, 12(5): 610-619.
- [30] Store R, Kangas J. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 55(2): 79-93.
- [31] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 谭迎春, 张和民. 卧龙自然保护区大熊猫生境评价. *生态学报*, 2001, 21(11): 1869-1874.
- [32] 国家林业局. 全国第三次大熊猫调查报告. 北京: 科学出版社, 2006.
- [33] 魏辅文, 周昂, 胡锦矗, 王维, 杨光. 马边大风顶自然保护区大熊猫对生境的选择. *兽类学报*, 1996, 16(4): 241-245.