西北林学院学报 2020,35(3):191-196
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2020.03.30

基于水文分析的动物通道选址

——以龙栖山自然保护区为例

翟　瑞[1],黄佑超[1],赵超超[1],林玉英[2],邱荣祖[1],胡喜生[1*]

(1.福建农林大学 交通与土木工程学院,福建 福州 350002;2.福建师范大学 旅游学院,福建 福州 350108)

摘　要:自然保护区内道路等基础设施的建设不可避免地会对动物生境产生影响,造成动物死亡率提升。动物通道的设置是改善由道路建设引起的生境破碎化的有效途径,而正确选择动物通道的位置才能使其真正发挥作用。以福建省将乐县龙栖山国家级自然保护区为对象,选取对林区生境影响较大的6种环境因子:树种类型、树种平均年龄、胸径、坡度、海拔以及郁闭度,使用层次分析法(AHP)进行权重分析,相对权重依次为0.296、0.235、0.163、0.085、0.076、0.145。将因子进行叠加构建出生境适宜性指数(HSI)评价模型,并对研究区的生境适宜性进行评价。在此基础上采用ArcGIS的水文分析模块模拟动物潜在的活动路径与道路叠加,从而确定合适的动物通道位置。结果表明,HSI较高的区域多集中在自然保护区中部高海拔地区与缓坡地带,植被主要以天然阔叶林为主,树种的平均年龄大,覆盖面积广,郁闭度高,能够为大中型的走兽提供较好的觅食、隐蔽、繁殖场所,结合量化出的动物活动路径,得到2处动物通道的理想位置。此经HSI模型模拟出的路线只能是一种大概率情况,所建议的通道建设完成后,还需进行持续的野生动物利用情况监测,以评估通道的有效性,进而进行有针对性的改造设计,直到野生动物通道的利用效果良好。对于所得到的动物活动路径,不仅可以为动物通道选址提供参考,也可为动物迁移廊道修正、林区择伐等提供科学依据。

关键词:动物通道;水文分析;生境适宜性;林区公路

中图分类号:S773.6　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1001-7461(2020)03-0191-06

Location Selection of Wildlife Corridors Based on Hydrological Analysis: A Case Study of the Longqi Mountain Nature Reserve

ZHAI Rui[1], HUANG You-chao[1], ZHAO Chao-chao[1], LIN Yu-ying[2], QIU Rong-zu[1], HU Xi-sheng[1*]

(1. *College of Transportation and Civil Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou* 350002, *Fujian, China*; 2. *College of Tourism, Fujian Normal University, Fuzhou* 350108, *Fujian, China*)

Abstract: The construction and operation of the roads and other facilities in nature reserve will inevitably affect the habitat of animals and increase the mortality rate of animals. The setting of the wildlife corridor is an effective way to improve the habitat fragmentation caused by road construction. Only when the corridors are set in correct locations, can they play really role in wildlife protection. In this paper, taking the Jiangle Longqi Mountain National Nature Reserve as the research area, 6 environmental factors that had great impacts on the habitat were selected in the forest area, namely tree species type, average tree age, DBH, slope, elevation, and canopy closure. Weight analysis was performed using the analytic hierarchy process (AHP) with relative weights of 0.296, 0.235, 0.163, 0.085, 0.076, and 0.145, respectively for the factors above mentioned. The factors were superimposed to construct a habitat suitability index (HSI)

收稿日期:2019-07-23　**修回日期:**2019-10-10

基金项目:国家自然科学基金(31971639);福建省自然科学基金面上项目(2019J01406)。

作者简介:翟　瑞。研究方向:森林工程与道路生态。E-mail:rui_zhai1111@126.com

* **通信作者:**胡喜生,教授,博士,硕士生导师。研究方向:道路生态与3S技术及工程应用。E-mail:xshu@fafu.edu.cn

evaluation model, and the habitat suitability of the study area was evaluated. Based on the evaluation, the hydrological analysis module of ArcGIS was used to simulate the active paths of animals and superimpose with the road to determine the appropriate animal channel position. The results showed that the areas with higher HSI were concentrated in the high altitude areas and gentle slope areas in the middle of the nature reserve. The vegetations in these areas were mainly natural broad-leaved forests with the characteristics of old age, wide coverage area, high degree of closeness, which could meet the needs of large and medium-sized beasts for their foraging, concealing and breeding. Combined with the quantified animal activity path, the ideal locations of two animal passage ways were found. However, the routes were theoretical results of the simulation from the HSI model with maximum probability, practical test should be conducted after the proposed channel construction was completed. Continuous monitoring of wildlife that would use the passageways to be established should be carried out to assess the effectiveness of the passageways, from which further improvement and modification could be made to achieve satisfactory results. The simulated wildlife passageways can not only provide references for the site selection of wildlife corridor but also provide a scientific basis for animal migration corridor modification and forest selective cutting.

Key words: wildlife corridor; hydrology; habitat suitability; forest road

自然保护区的建设往往强调被保护动物的本身，而忽略了整个生态系统的完整性[1]，加之保护区内公路网不断扩大，使得生物栖息地破碎化[2]。生物多样性是林区稳定性的基础，栖息地保护在生物保护工作中十分重要[3]。通过建立合理的动物通道可加强景观斑块间的连通性[4]，并增加相似栖息地斑块间的基因交换和物种流动，给缺乏空间扩散能力的物种提供连续的栖息地网络，对生物多样性保护起到积极作用[5]。

公路修建对野生动物造成的影响包括：道路致死、种群移动扩散受限、种群定居率降低、灭绝风险增加、基因交流受阻、生境破碎化等一系列生态问题。当公路穿越自然保护区等生物多样性丰富、生态敏感脆弱区时，这种影响尤为严重。在欧美发达国家，对于生态保护的意识起源较早，目前已经制定了关于野生动物通道设计指南。亚洲的日本、韩国、新加坡等国也建设了不同类型的动物通道。他们对于通道的形状、大小、布局、对象等方面都进行了大量的研究[6-10]。随着我国开始重视生态保护和发展，国内对于动物通道的研究也逐渐增多，但是大部分的研究局限于动物通道的尺寸、类型以及辅助设施[11-16]，在动物通道选址的问题上往往主观性较高，缺乏精确性和可操作性。在类似自然保护区这样野生动物大量聚集的地区，动物通道选址的研究就显得格外重要，但此方面的研究甚少，特别是缺少考虑生境质量对动物路径选择的影响。

由于气候、树种变化和人类活动等因素导致生境发生变化，动物会从不适宜的生境移动到适宜的生境，这个过程就像水流从高处向低处流动。基于动物的迁移路径与水流的相似性原理[17]，本研究以福建龙栖山国家级自然保护区为对象，以保护区内国家级保护动物云豹（*Neofelisnebulosa*）为目标物种，建立生境适宜性评价模型代替高程模型，采用地理信息系统（ArcGIS）中的水文分析工具模拟出动物的潜在迁移路径，通过与已知公路路网进行叠加分析，从而得到有效的动物通道位置。研究提出了规划自然保护区动物通道的科学方法，也为林区基础设施的设计和建设提供资料参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

福建省受季风环流和地形的影响，形成暖热湿润的亚热带海洋性季风气候[18]，龙栖山国家级自然保护区位于福建省西北部，三明市将乐县西南部，是1个以亚热带常绿阔叶林为主要保护对象的自然保护区，年平均降水雨量1 797 mm，地理坐标117°11′－117°21′E，26°23′－26°43′N，总面积156.93 km^2，其核心区面积占比41.9%，缓冲区占比14.8%，实验区占比43.3%。龙栖山脉呈北东走向，属武夷山脉东南延伸的支脉，区内水系发育，溪流众多，多呈树枝状分布。该区内森林覆盖率＞97%[19]，有近9 000 hm^{2}的原始林和次生林，蕴含多种生态系统及其景观，包括国家级保护植物红豆杉（*Taxus wallichiana* var. *chinensis*）、齿叶黑桫椤（*Gymnosphaera denticulata*）、金毛狗（*Cibotium barometz*）、金钱松（*Pseudolarix amabilis*）等。目前该保护区内有金钱豹（*Panthera pardus*）、云豹、黄腹角雉（*Tragopan caboti*）、白颈长尾雉（*Syrmaticus ellioti*）等22种国家重点保护野生动物，物种丰富，被誉为“鸟的天堂”、“动物的王国”、“物种的基因库”等。

1.2　研究方法

1.2.1　*数据来源*　保护区评价因子数据来源于将乐森林资源二类调查数据库。道路网络数据由 Open Street Map 矢量化获得,数据类型包括道路名称、等级、长度等,由于穿过该保护区内的道路为乡镇道路,故不考虑保护区内高等级公路的影响。

1.2.2　*生境评价体系构建*　生境适宜性的关键是评价因子的选取。云豹等豹类动物是典型的林栖动物,常活动于中低海拔阔叶林、灌丛、山地、丘陵、平原,故在考虑生境情况的基础上,选取以下指标作为影响目标物种生境的主导因子构建生境适宜性评价体系:树种类型、树种平均年龄、胸径、坡度、海拔、郁闭度。根据目标物种对不同因子的选择策略对各评价指标进行分级并赋值[20-23](表 1),利用 ArcGIS 生成的各生境适宜性评价因子栅格图(图 1)。

1.2.3　*层次分析法*　每种因子对生境适宜性评价的影响程度不同,所以本研究对各个评价因子进行权重分析,运用层次分析法(AHP)计算出这 6 个评价因子的权重并用数值展出各个因子的重要程度,原理是根据层次结构构造判断矩阵(表 2),具有向下隶属关系的每个元素作为判断矩阵第 1 个元素,隶属于它的各元素依次排列在其后的第 1 行与第 1 列,相关联的 2 个元素进行两两比较,按重要性程度赋值 1～9[24]。最后将各行的数值相乘再开相应元素个数的倒数次方得到各个元素的相对权重值。

1.2.4　*生境适宜性指数*　在对评价因子赋值及各个因子权重确定的基础上,利用 ArcGIS 将各个评价因子转化成栅格图,再利用空间分析工具的栅格计算器将各个评价因子栅格图进行叠加计算生境适宜性指数(habitat suitability index,HSI),从而根据 HSI 的大小确定区域内生境适宜性及分布情况,其中生境适宜性指数计算如下:

表 1　生境适宜性评价体系及各评价指标分级赋值

Table 1　Habitat suitability evaluation system and indicator classification

评价指标	赋值				
	1	2	3	4	5
树种类型	采伐区、道路	经济林、灌木	竹类混交林、竹类纯林	针叶纯林、针叶混交林	阔叶纯林、针阔混交林
树种平均年龄/a	＜10	11～20	21～30	31～40	＞40
平均胸径/cm	＜20	20～40	40～60	60～80	＞80
坡度/(°)	＞50	41～50	31～40	21～30	0～20
海拔/m	0～300	300～600	600～900	90～1200	＞1200
郁闭度	＜0.1	0.1～0.3	0.3～0.5	0.5～0.7	0.7～0.9

表 2　生境适宜性评价判断矩阵

Table 2　Habitat suitability evaluation judgment matrix

评价指标	树种类型	树种平均年龄/a	胸径/cm	坡度/(°)	海拔/m	郁闭度	相对权重
树种类型	1	1	2	4	3	3	0.296
树种平均年龄/a	1	1	1	3	3	2	0.235
胸径/cm	1/2	1	1	2	2	1	0.163
坡度/(°)	1/4	1/2	1/2	1	2	1/3	0.085
海拔/m	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1/2	0.076
郁闭度	1/3	1/2	1	3	2	1	0.145

$$\mathrm{HSI}=\sum_{i=1}^{n} C_i \times W_i \tag{1}$$

式中,C_i 为第 i 个评价因子的分级赋值;W_i 为各评价因子的权重。

1.2.5　*水文分析*　动物具有趋利避害的本能,倾向于从适宜性较差的地区向适宜性较好的地区移动。这种迁移意愿的方向选择,类似于水由高处向低处流动时所表现出的方向选择,因此可将动物迁移意愿流类比于水流[17]。借助 ArcGIS 中的水文分析模块,可实现动物迁移意愿流的量化。

所确定 HSI 模型,在生境适宜的区域所表现的指数高。因此 HSI 越高的区域所聚集动物的概率越大,而水流是在高程越低的地方聚集越多。故采用栅格计算器对 HSI 栅格模型取倒数得出 HSI 反值栅格,然后采用此模型替代数字高程模型(digital elevation model,DEM)来建立地表水流模型。利用 ArcGIS 先对模型进行填洼确定流向,进而确定流量,最后得到水流运动情况。水流流量大小与动物活动的概率成正比,将流量通过标准差分为 3 个等级,选出一、二级的水流与穿过自然保护区的乡镇公路进行叠加,相交的区域即可作为动物通道的理想位置。

2　结果与分析

2.1　生境适宜性评价

根据 HSI 计算可知(图 2),HSI 较高的区域集中在自然保护区中部高海拔地区、南部和东南部缓

坡地带，这些地区的植被主要以天然阔叶林为主，树种的平均年龄大，植被覆盖面积广，郁闭度高，能够为大中型的走兽提供较好的觅食、隐蔽、繁殖场所。HSI 中等地区主要位于中部高海拔陡坡地区、西南部缓坡地区和东部低海拔缓坡地区，这些地区的植被以针叶林和人工林为主，混有阔叶林，以丘陵为主要地形，该区域内林分较为稀疏，树种的平均年龄都较小，所以生境的适宜性较差。三明将乐素有“中国毛竹之乡”的美誉[25-26]，气候条件非常适合竹类林生长，因此 *HSI* 最差的区域主要以竹类林为主，因而郁闭度低，树种的胸径都比较小，而且以人工林为主，人为干扰大，所以不适合野生动物在此栖息。

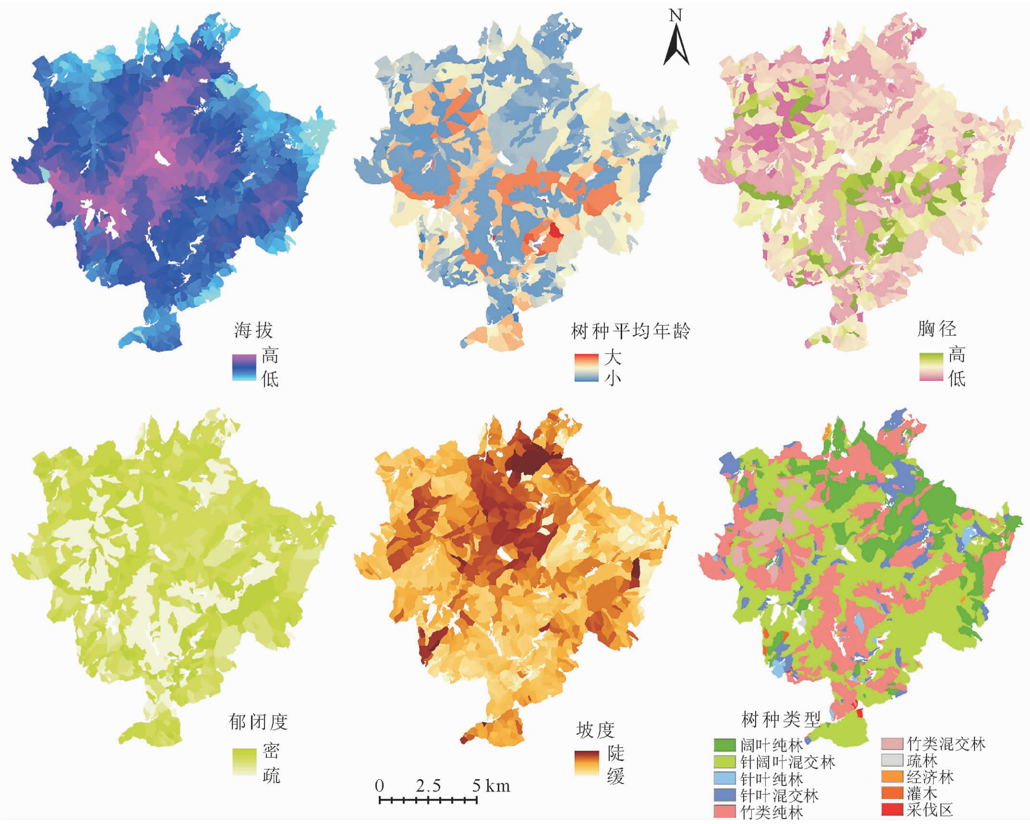

图 1 各生境适宜性评价因子栅格图

Fig. 1 Grid map of habitat suitability evaluation factors

图 2 生境适宜性空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of habitat suitability

2.2 动物通道位置的确定

利用 ArcGIS 进行水文分析得到的汇流累积量分布格局见图 3，由于研究地段为自然保护区，所以穿过该地段的公路较少，集中在南部保护区门口。根据水文分析的结果，横穿乡镇道路的潜在动物迁移路径有 2 条，其中通道①、②均为乡镇道路与一级汇流的交点（图 4），故这 2 点可视为设立动物通道的理想位置。

图 3 汇流累积量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of streamaccumulation

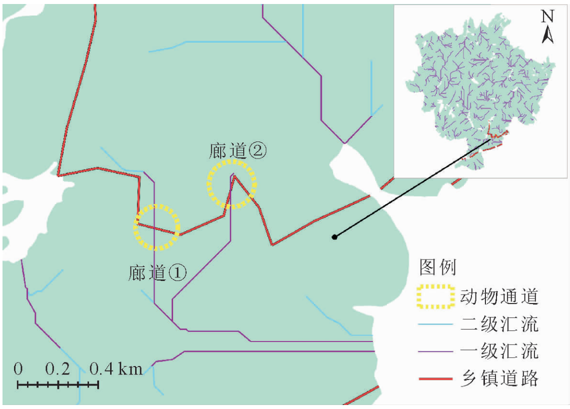

图 4　动物通道位置示意

Fig. 4　Locationsof wildlife corridor

3　结论与讨论

通过选取影响动物移动路径的环境因子并且对各个因子重要性使用 AHP 进行权重分析,将因子进行叠加构建出 HSI 评价模型,再结合 ArcGIS 空间分析工具中的水文分析模块对模型进行处理,最终与保护区内的道路网叠加,得到动物通道的位置,所确定的动物通道适用于云豹等大中型走兽。所得到的 2 处通道位置均位于龙栖山自然保护区的实验区范围内,该范围内允许进行一定的旅游经营活动,并允许少量交通工具进入[27],因此在实验区范围内修建动物通道能有效缓解路网对保护区的影响。

在众多动物保护管理项目中,通常采用最小累计阻力模型(minimal cumulative resistance,MCR)来进行动物通道的设计,但实际观察证明,利用此方法进行人工设计的动物通道往往与动物的实际迁移意愿不相符[17]。水文分析法通过将动物活动与环境因子综合考虑,得到的动物迁移路径与实际路径的相似度更高,可以大大减少决策过程中人为主观因素的影响。

使用 ArcGIS 进行数据处理最为关键的是动物生境选择的环境因子评价体系的构建。本研究对现有的数据进行分析,基于普适性和可操作性的考虑,选择出能够影响林区野生动物活动路径的 6 种环境因子。由于自然保护区受人为干扰影响小,因此人为影响的环境因子对于生境适宜性影响较小,所以没有选取。动物对于生境选择是极为复杂的过程,可能存在某些环境因子对生物的生境选择有决定性的影响,但是现有数据无法对此环境因子进行准确的定量,例如天敌之间的竞争或者四季的变化。因此在动物通道的修建初期还要进行大量实地考察来进行初步验证,还可以结合历史资料并咨询专家来判断廊道位置,特别是编制动物影响专题报告并征求专家意见,能起到很好的效果[28-30]。

福建龙栖山国家级自然保护区蕴含的资源和物种丰富,而且有众多的国家重点保护野生动物和珍稀植物资源,是一个极为重要的“天然实验室”[31]。所以本研究所提取的动物迁移路径,不仅可以为动物迁移廊道的规划提供参考,在林区择伐与保护区管理和开发领域都可应用。

参考文献:

[1] NOSS R F,QUIGLEY HB,HORNOCKER M G,*et al*. Conservation biology and carnivore conservation in the Rocky Mountains[J]. Biology Conservation,1996,10(4):949-963.

[2] 简海云. 高速公路建设对动物迁徙的影响及其预防对策[J]. 科协论坛:下半月,2007(4):162-163.

[3] 边坤,刘楚光,王开锋. 秦岭老县城自然保护区大熊猫栖息地植物群落多样性研究[J]. 西北林学院学报,2015,30(4):172-177.

BIAN K,LIU C G,WANG K F. Species diversity of plant communities in the giant panda habitat of lao xiancheng nature reserve[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(4):172-177. (in Chinese)

[4] RENATA P,SERGIO M S D,RICARDO B N. The role of forest structure,fragment size and corridors in maintaining small mammal abundance and diversity in an Atlantic forest landscape[J]. Biological Conservation,2005,124(2):253-266.

[5] BROQUET T,RAY N,PETIT E,*et al*. Geneticisolation by distance and landscape connectivity in the American marten (Martes Americana)[J]. Landscape Ecology,2006,21(6):877-889.

[6] OLSSON M P O,WIDEN P,LARKIN J L. Effectiveness of a highway overpass to promote landscape connectivity and movement of moose and roe deer in Sweden[J]. Landscape and Urban Planning,2008,85(2):133-139.

[7] DESOUZA J C,DA CUNHA V P,MARKWITH S H. Spatiotemporal variation in human-wildlife conflicts along highway BR-262 in the Brazilian Pantanal[J]. Wetlands Ecology and Management,2015,23(2):227-239.

[8] CUSHMAN S A,LEWIS J S,LANDGUTH E L. Evaluating the intersection of a regional wildlife connectivity network with highways[J]. Movement Ecology,2013,1:12-12.

[9] LEWIS J S,RACHLOW J L,HORNE J S,*et al*. Identifying habitat characteristics to predict highway crossing areas for black bears within a human-modified landscape[J]. Landscape and Urban Planning,2011,101(2):99-107.

[10] CLEVENGER A P,WALTHO N. Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals[J]. Biological Conservation,2005,121(3):453-464.

[11] KONG Y P,WANG Y,GUAN L. Road wildlife ecology research in China[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences,2013,96:1191-1197.

[12] 王成玉,陈飞. 山区高速公路对野生动物的影响及保护措施探讨[J]. 公路,2007(12):97-102.

[13] 候凌,谈卓著.户县至洋县高速公路动物通道设置[J].山西建筑,2009,35(25):281-282.
HOU L,TAN Z Z. Animal passage setting of hu country-yang country freeway[J]. Shanxi Architecture,2009,35(25):281-282.(in Chinese)

[14] 陈志展,蔡荣坤.公路对野生动物影响和保护措施研究[J].广东交通职业技术学院学报,2011,10(2):21-25.
CHEN Z Z,CAI R K. Research on highway's influence to wild animals and its protection measures[J]. Journal of Guangdong Communication Polytechnic,2011,10(2):21-25.(in Chinese)

[15] 李细伟,何智勇,薛承鹏.高速公路动物通道的研究[J].公路,2014(8):137-139.

[16] 李玉强,邢韶华,刘生强,等.陆生野生动物通道设计方法[J].北京林业大学学报,2013,35(6):137-143.
LI Y Q,XING S H,LIU S Q,*et al*. Designing method of terrestrial wildlife path[J]. Journal of Beijing Forestry University,2013,35(6):137-143.(in Chinese)

[17] 宋波,倪婷玉,王瑾.基于迁移意愿的动物迁移廊道修正——以德化县云豹为例[J].生态学报,2010,30(17):4571-4577.
SONG B,NI T Y,WANG J. Revising the designed migration corridor based on animal's migration desire:a case study of clouded leopard (*Neofelisnebulosa*) in Dehua[J]. Acta Ecologica Sinica,2010,30(17):4571-4577.(in Chinese)

[18] 宋禹辉,杨夏捷,彭徐剑,等.福建四种乔木树种燃烧释放污染物排放因子研究[J].森林工程,2018,34(3):26-31.
SONG Y H,YANG X J,PENG X J,*et al*. Emission factors of pollutants released from burning of four tree species of fujian province[J]. Forest Engineering,2018,34(3):26-31.(in Chinese)

[19] 曾晶,张晓丽.福建龙栖山国家级自然保护区森林立地分类研究[J].西北林学院学报,2016,31(1):192-198.
ZENG J,ZHANG X L. Forest site classification in fujian longqishan national nature reserve[J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(1):192-198.(in Chinese)

[20] 李佳,李言阔,缪泸君,等.江西桃红岭国家级自然保护区梅花鹿生境适宜性评价[J].生态学报,2014,34(5):1274-1283.
LI J,LI Y K,MIAO L J,*et al*. Habitat assessment of sika deer (*Cervusnippon*) in the taohongling national nature reserve,Jiangxi Province,China[J]. Acta Ecologica Sinica,2014,34(5):1274-1283 (in Chinese)

[21] 李石华,王金亮.基于3S技术的野生动物生境评价与保护研究——以高黎贡山羚牛为例[J].测绘科学,2009,34(2):161-163.
LI S H,WANG J L. Assessment and protection on wildlife habitat based on 3S technology-taking takin in Gaoligong Mountains as an example[J]. Science of Surveying and Mapping,2009,34(2):161-163.(in Chinese)

[22] 李莹,徐文轩,杨维康,等.卡拉麦里山有蹄类自然保护区鹅喉羚生境适宜性评价[J].兽类学报,2010,30(1):11-20.
LI Y,XU W X,YANG W K,*et al*. Habitat suitability assessment of *Gazellasubgutturosa* in Kalamaili Mountain nature reserve[J]. Acta Theriologica Sinica,2010,30(1):11-20.(in Chinese)

[23] 林杰,徐文轩,杨维康,等.卡拉麦里山有蹄类自然保护区蒙古野驴生境适宜性评价[J].生物多样性,2012,20(4):411-419.
LIN J,XU W X,YANG W K,*et al*. Habitat suitability assessment of *Equushemionushemionus* in Kalamaili Mountain nature reserve[J]. Biodiversity Science,2012,20(4):411-419.(in Chinese)

[24] 朱加永,苏航.基于层次分析法的港口建设模式探讨[J].水运工程,2019(4):85-89,114.
ZHU J Y,SU H. Discussion on port construction mode based on analytic hierarchy process[J]. Port & Waterway Engineering,2019(4):85-89,114.(in Chinese)

[25] 侯绍梅,刘东兰,郑小贤.基于GIS的将乐林场森林经营类型的划分[J].中南林业科技大学学报,2014,34(2):66-71.
HOU S M,LIU D L,ZHENG X X. Division of forest management types based on GIS in Jiangle forest farm[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2014,34(2):66-71.(in Chinese)

[26] 胡雪凡,张会儒,张晓红.中国代表性森林经营技术模式对比研究[J].森林工程,2019,35(4):32-38.

[27] 胡欣欣.龙栖山国家级自然保护区森林景观格局分析及其生态评价[D].福州:福建农林大学,2009.

[28] 林鑫,王志恒,唐志尧,等.中国陆栖哺乳动物物种丰富度的地理格局及其与环境因子的关系[J].生物多样性,2009,17(6):652-663.
LI X,WANG Z H,TANG Z Y,*et al*. Geographic patterns and environmental correlates of terrestrial mammal species richness in China[J]. Biodiversity Science,2009,17(6):652-663.(in Chinese)

[29] 张晏,费世江.公路建设中野生动物通道的设置研究[J].辽宁科技大学学报,2009,32(1):93-98.
ZHANG Y,FEI S J. Study on wildlife passage in highway construction[J]. Journal of University of Science and Technology Liaoning,2009,32(1):93-98.(in Chinese)

[30] 朱玉峰,董博昶,沈毅.环境影响评价阶段公路工程野生动物通道设置研究[J].公路交通科技:应用技术版,2016,12(5):329-331.

[31] 胡欣欣.龙栖山国家级自然保护区森林景观空间格局分析[J].福建林学院学报,2011,31(2):136-139.
HU X X. Analysis of forest landscape pattern of Longqishan national nature reserve[J]. Journal of Forest and Environment,2011,31(2):136-139.(in Chinese)