

基于 GIS 和 RS 的东北地区东北虎生境适宜性评价

李亚藏^{1,2}, 冯仲科¹, 黄季夏¹, 杨柳¹

(1. 北京林业大学 精准林业北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 安阳工学院, 河南 安阳 455000)

摘要: 以中国东北地区(含东北三省和内蒙古东北部)为研究区域, 依据稳定性、独立性、主导性和综合性原则, 从植被、地理环境、人为干扰等 3 个层面选取植被类型、植被覆盖度、海拔、坡度、坡向、水源、居民点、主要道路等为评价因子, 对中国东北虎 *Panthera tigris altaica* 生境进行适宜性评价。在地理信息系统(GIS)和遥感(RS)技术的支持下, 获取各评价因子的定量信息。采用层次分析法(AHP)确定各评价因子的权重, 并运用模糊数学模型对各单因子加权叠加, 得到东北虎生境适宜性综合评价分级图并计算各分区面积。结果表明: ①人为干扰和植被因素是影响东北虎分布的主要因素; ②将研究区域划分为东北虎最适宜分布区、次适宜分布区、一般适宜分布区和不适宜分布区, 分别占研究区域总面积的 21.97%, 16.83%, 22.02%, 39.18%。最适宜区和次适宜区面积总和达到 48.80%, 说明东北地区适宜东北虎生存的潜在生境面积总量较为可观。这为东北虎自然保护区的建立和人工饲养东北虎的放归计划提供决策依据。图 3 表 3 参 25

关键词: 动物学; 地理信息系统(GIS); 遥感(RS); 东北虎; 生境适宜性; 数学模型

中图分类号: S759.9; Q959.9

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2016)02-0265-07

Habitat suitability evaluation for Amur tigers in northeast China based on GIS and RS

LI Yacang^{1,2}, FENG Zhongke¹, HUANG Jixia¹, YANG Liu¹

(1. Institute of GIS, RS, and GPS, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Anyang Institute of Technology, Anyang 455000, Henan, China)

Abstract: This article researched the habitat suitability evaluation for Amur tigers in northeast China, which found the potential distribute area and provided decision-making for the establishment of Amur tiger nature reserve and the plan of getting back to nature of artificial breeding Amur tigers. The study area in northeast China included the three provinces of northeast China and the northeast region of Inner Mongolia. According to the principles of stability, independence, dominance, and comprehensiveness, the habitat suitability of Amur tigers in northeast China was assessed using the three aspects of vegetation, geographical environment, and human disturbance with vegetation type, vegetation coverage, elevation, gradient, slope direction, water source, residential areas, and main roads selected as evaluation variables. Data for each variable was collected quantitatively using geographic information systems (GIS) and remote sensing (RS). Then the Amur tiger habitat suitability evaluation classification figure was obtained using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to determine the weight of each evaluation factor, and using the fuzzy mathematical model for the single factor weighted superposition. Afterward, the partitioning of areas was conducted. Results showed that human disturbance and vegetation were the main factors affecting the Amur tiger distribution. The study area was classified as most appropriate (21.97%), second suitable (16.83%), generally appropriate (22.02%), and inappropriate

收稿日期: 2015-03-19; 修回日期: 2015-09-01

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAH34B01)

作者简介: 李亚藏, 副教授, 从事地理信息系统在资源环境上的应用研究。E-mail: liyacang@sohu.com。通信作者: 冯仲科, 教授, 博士生导师, 从事精准林业与 3S 技术研究。E-mail: fengzhongke@126.com

distribution areas (39.18%). Thus, the living space that could be appropriated for Amur tigers compared to the total potential habitat area in the Northeast China was considerable approximately 48.8%. [Ch, 3 fig. 3 tab. 25 ref.]

Key words: zoology; geographic information system (GIS); remote sensing (RS); Amur tiger; habitat suitability; mathematical model

东北虎 *Panthera tigris altaica* 是世界上现存的 5 个虎 *Panthera tigris* 亚种中体形最大者, 属世界濒危和区域旗舰物种^[1]。由于捕猎和栖息地环境的破坏, 中国境内的野生东北虎数量已不足 20 只^[2-3]。虽然近些年中国对东北虎的保护做了大量工作, 但仍然存在栖息地破碎化、保护区面积不足、人类生产经营活动逐渐向林区发展及生态廊道不畅等问题, 严重限制了东北虎种群的恢复^[4]。另外, 随着人工饲养东北虎数量的逐渐增加^[5], 东北虎要放归何处就成了一个值得思考的问题。目前, 对东北虎的研究多集中在东北虎的生态行为学^[6-9]、种群分布^[2]、数量监测^[2, 10-11]及其猎物种群^[12-13]等方面, 而对东北虎如此广域生境筛选及其评价的研究较少。中国东北和俄罗斯远东东北虎分布区的猎物种群密度相对较低, 致使东北虎的家域面积较大, 据研究, 生活在该区 1 只成年雌虎需要的家域面积约为 488 km², 雄虎的领域面积约为 1 205 km²^[14]; 如果要保证种群的可持续繁衍大约需要 20 只左右成年雌虎, 这就意味着至少需要 8 000 km² 的连续的生境面积, 这也说明了生境研究的必要性^[15]。本研究从东北虎最基本的生境条件入手, 在掌握东北虎及其生境现状的基础上, 以中国东北地区包括黑龙江、吉林、辽宁三省和内蒙古东北部为研究区域, 分析影响东北虎分布的植被、地理环境和人为干扰三大因素, 评价和预测东北虎的适宜生境, 制定切实可行的规划措施, 以期为东北虎自然保护区的建立和放归工作提供参考依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

该研究区域为中国东北地区, 包括黑龙江、吉林、辽宁三省及内蒙古东部地区。地理坐标范围: 38°43'29"~53°41'52"N, 111°0'23"~135°53'50"E。全区面积为 157.67 万 hm²。东北地区自南向北跨中温带与寒温带, 属温带季风气候, 四季分明, 夏季温热多雨, 冬季寒冷干燥。自东南向西北, 年降水量自 1 000 mm 降至 300 mm 以下, 从湿润区、半湿润区过渡到半干旱区。该区东、南和北面被水域环绕, 西面为陆界, 内侧是大兴安岭和长白山系的高、中、低山及丘陵, 平均海拔为 1 000 m; 中部为低海拔的东北平原, 平均海拔约 200 m。东北地区森林覆盖率高, 森林植被以红松 *Pinus koraiensis*, 落叶松 *Larix olgensis*, 云杉 *Picea asperata*, 山杨 *Populus davidiana*, 白桦 *Betula platyphylla*, 黄蘗 *Phellodendron amurense*, 水曲柳 *Fraxinus mandschurica*, 紫椴 *Tilia amurensis* 等树种为主。栖居的兽类有东北虎, 豹 *Panthera pardus*, 貉 *Nyctereutes procyonoides*, 黑熊 *Ursus thibetanus*, 紫貂 *Martes zibellina*, 水獭 *Lutra lutra*, 黄鼬 *Muustela sibirica* 等^[2]。

1.2 数据来源

1.2.1 遥感影像 遥感影像采用空间分辨率为 250 m 的 MODIS 中国区域归一化植被指数 (NDVI) 产品和空间分辨率为 30 m × 30 m 的美国陆地卫星 Landsat-5 遥感影像。NDVI 植被指数产品预处理包括: 反演、拼接、切割、投影转换、单位换算等步骤, 遥感影像处理在 ENVI 软件支持下实现, 过程包括辐射定标和大气校正、几何精校正及配准、图像镶嵌和裁剪、组合波段的选择与确定、图像增强处理等步骤。

1.2.2 植被图 收集《1:1 000 000 中国植被图集》^[16], 对其进行扫描, 以 ArcGIS 10.2 为平台, 进行矢量化数据和属性数据录入, 然后利用已有数据进行校正和配准。形成包括针叶林、阔叶林、灌丛、栽培植被、草原、草甸等类型的植被矢量图。

1.2.3 数字高程模型 (DEM) DEM 数据下载于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云, 选用 GDEM 30 m 的产品。

1.2.4 东北各省矢量图 省市界、区县界、道路、河流等矢量图均来自国家 1:100 000 矢量数据集 (下载于中国国家基础地理信息中心)。

2 研究方法

基于遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术,在野外生态调查和收集图件资料以及相关文本资料^[17]的基础上,依据稳定性、独立性、主导性和综合性原则^[18]从植被、地理环境、人为干扰 3 个层面,选取植被类型、植被覆盖度、海拔、坡度、坡向、水源、居民点、道路 8 个因子作为生境适宜性评价因子。植被类型结合矢量化的 1:1 000 000 中国植被图,对 Landsat-5 遥感影像分类得到;植被覆盖度采用归一化植被指数 NDVI 来表现。海拔、坡度和坡向来自 30 m 空间分辨率的 DEM 影像数据;水源主要来自河流、湖泊矢量数据,河流级别包括 5 级及以上;居民点包括地级市和县级市;道路最小至省道。上述数据在地理信息系统软件 ArcGIS 10.2 的支持下,进行数据编辑,并将其转化为和国家 1:100 000 基础地形数据库一致的投影坐标系统得到评价所需的各评价因子信息。最后将不同的空间数据离散为 90 m × 90 m 的栅格。再运用适宜性评价模型和 GIS 的空间分析功能分别计算出每个栅格的生境适宜性综合评价值,然后制定分级标准,最后得到东北地区东北虎生境适宜性分级图并计算各级面积。东北地区东北虎生境适宜性评价技术路线如图 1 所示。

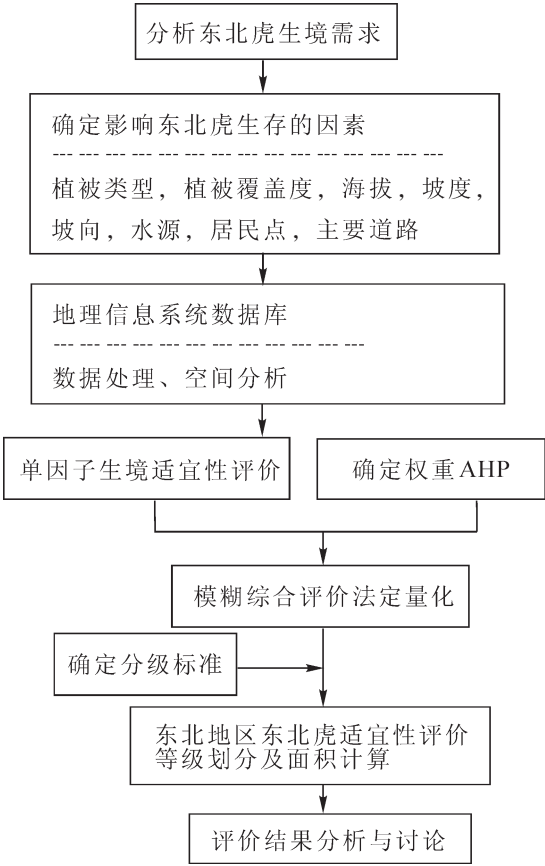


图 1 东北地区东北虎生境适宜性评价技术路线
Figure 1 Technical route of Amur tigers habitat suitability evaluation

3 适宜性评价

3.1 单因子生境适宜性评价

依据东北虎生活对栖息地的要求,以及人类活动与自然环境的关系,并综合考虑前人的研究成果^[3,17,19-21],分析确定东北虎单因子生境适宜度的分级标准(表 1),并得到各单因子适宜性评价分级图。

3.2 评价因子权重的确定

采用层次分析法确定权重^[22-23]。首先将指标分为目标层、准则层和方案层 3 个层次,建立层次结构(图 2),通过专家对判断矩阵表的填写构建判断矩阵,求解矩阵,得到特征向量和最大特征根及最大特

表 1 东北虎单因子生境适宜性分级标准

Table 1 Classification standard of Amur tigers habitat suitability based on single factor

适宜性等级	植被类型	植被覆盖度/%	海拔/m	坡度/(°)	坡向	水源/m	居民点/m	道路/m
最适宜	阔叶林	>80	400~1 000	5~15	E/SE/SW	<3 000	>10 000	>5 000
次适宜	针阔混交林	60~80	200~400/1 000~1 500	0~5	其他	3 000~5 000	10 000~5 000	5 000~3 000
一般适宜	针叶林和灌丛	40~60	<200/1 500~2 000	15~25		5 000~10 000	5 000~3 000	3 000~1 500
不适宜	农田、裸地、水体、居民地等	<40	>2 000	>25		>10 000	<3 000	<1 500

征向量,最后对指标进行一致性检验,结果为 $C_R=0.015\ 68<0.1$,具有满意的一致性。再参考文献[24]的方法计算出 8 个指标的组合权重值(表 2)。

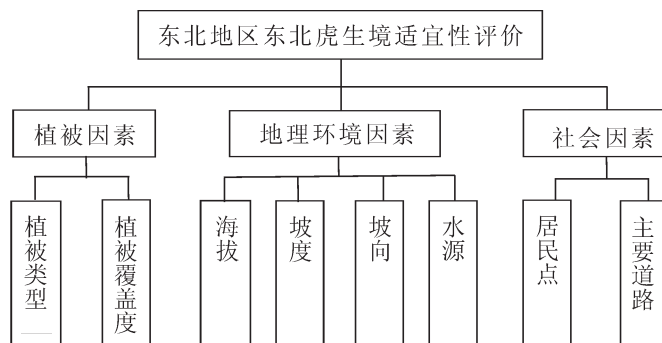


图 2 东北地区东北虎生境适宜性综合评价指标体系

Figure 2 Evaluation index system of Amur tigers habitat suitability

表 2 各评价因子权重值

Table 2 Weight of each evaluation factor

影响因素	权重	影响因素	权重	影响因素	权重
植被类型	0.101 25	坡度	0.031 99	道路	0.203 02
植被盖度	0.185 14	坡向	0.031 99	水源	0.061 49
海拔	0.045 23	居民点	0.339 89		

3.3 生境适宜性综合评价

3.3.1 评价模型的建立 应用适宜性评价的模糊数学模型进行综合评价值的计算。计算公式如下:

$$s_i = \sum_{k=1}^n w_k \times c_i(k) \quad (1)$$

式(1)中: i 为栅格编号; k 为评价因子编号; n 为评价因子总数; s_i 为第 i 个栅格的综合评价值; w_k 为第 k 个因素的权重; $c_i(k)$ 为第 i 个栅格的第 k 个评价因子适宜度评价。

3.3.2 单因子加权叠加获得综合适宜度 通过上面分析已经对各单因子适宜性进行了评价,并确定了各影响因子的权重。现根据适宜性为各评价因子赋值,以最适宜为标准赋值为 1,次适宜、一般适宜和不适宜依次赋值为 2, 3 和 4。然后,根据层次分析法求得的权重按照式(1)进行加权求和得到各个栅格的综合评价值。经过加权叠加得到每个栅格的综合评分值范围为 1.000 00~3.890 79,若该栅格的所有因子均在最适宜分布区,叠加后的值为最小值 1.000 00,说明此处的环境最适宜东北虎生存;当各因子均在不适宜分布区,叠加后为最大值 3.890 79;同理,各因子均为次适宜分布区,叠加后的总值是 2;均在一般适宜分布区,叠加后的总值为 2.968 01。但因为各因子的权重相差悬殊,居民点、道路、植被盖度和植被类型 4 个因子的权重总和为 0.829 30。因此,为了更为准确地预测东北虎的最适宜分布区,本研究将分区的临界值做了适当调整。将 3 个权重最大的因子(居民点、道路和植被盖度)的最适宜分布区赋值与植被类型的次适宜分布区和其他 4 个因子的一般适宜分布区赋值的总和作为划分最适宜区和次适宜区的分界点(1.442 65);将权重最大的 5 个因子次适宜区赋值总和作为次适宜区与一般适宜区分界点

(1.781 58)；将权重最大的 3 个因子一般适宜区赋值的总和作为划分一般适宜区和不适宜区的分界点 (2.184 15)，重新分类，将研究区分类为最适宜分布区(1~1.442 65)，次适宜分布区(1.442 65~1.781 58)，一般适宜分布区(1.781 58~2.184 15)和不适宜分布区(2.184 15~ 3.890 79)。评价结果如图 3 所示。利用 ArcGIS 对 4 个适宜性等级的面积进行统计，结果如表 3 所示。

4 结果与讨论

本研究采用层次分析法确定了各评价因子的权重，认为居民点、道路和植被盖度所占权重最大；其次为植被类型；海拔、坡度、坡向和水源对东北虎的分布影响不大。由此可见，人为干扰和植被因素是影响东北虎分布的主要因素，这与前人的研究结果相一致^[1]。以后在进行有关东北虎研究和保护过程中要加强该方面的管理。本研究发现，东北地区东北虎最适宜分布区主要分布于长白山脉、张广才岭、小兴安岭、千山山脉和大兴安岭的部分地区，其面积为 346 388.4 hm²，占研究区总面积的 21.97%。该区植被类型丰富，林分郁闭度高，林分类型多以针、阔混交林或纯林为主体，林内有丰富的食物分布，另外该地区城镇密度小，且靠近边境地区，人为干扰小。次适宜区面积为 265 464.8 hm²，占研究区面积的 16.83%，所占比例最小，主要为最适宜区的一些缓冲区域。一般适宜区主要分布在研究区的西南部，该区域居民点稀少，影响东北虎分布的主要因素为植被因素，其植被类型以灌草为主。不适宜区主要集中在中部和南部的东北平原，该区域主要为城镇分布区，人口密集，植被覆盖度低，植被类型主要以农田为主，不适宜东北虎生存。张明海等^[25]研究认为，已知的野生东北虎出现点主要分布在黑龙江东部及东南部，吉林东部及东北部，均在本研究评价结果范围内，验证了评价结果的可靠性。

由于城镇过度扩张，人工建设大量开发，导致野生东北虎的栖息地遭到严重破坏，这使得适宜东北虎生存的潜在生境(面积仅占 21.97%)的破碎度较高，即东北虎分布区岛屿化相当严重，可能造成了东北虎近年来有向俄罗斯远东地区迁徙的趋势。因此，对现有保护区的最适宜分布区建立生态廊道，连接破碎化区域，是当前保护区管理部分急需解决的首要问题。鉴于俄罗斯远东地区有较多东北虎出没，建议将中国东北虎保护区与俄罗斯远东地区的保护区联合，形成跨国界的保护区网络。同时，中国东北地区要改变林业经营模式，建立长期的生态环境监测体系。

由于受数据来源的限制，本研究未能将影响东北虎分布的猎物因子纳入评价因子当中，可能会对预测结果造成一定程度的偏差，这将是我们的工作重点。另外，在利用层次分析法和模糊评价模型进行评价过程中，带有较强的主观性，今后考虑能否结合实际情况进行其他评价方法的选择或模型的改进，为野生东北虎的生存和繁衍以及人工饲养东北虎的放归计划提供更为科学的参考。

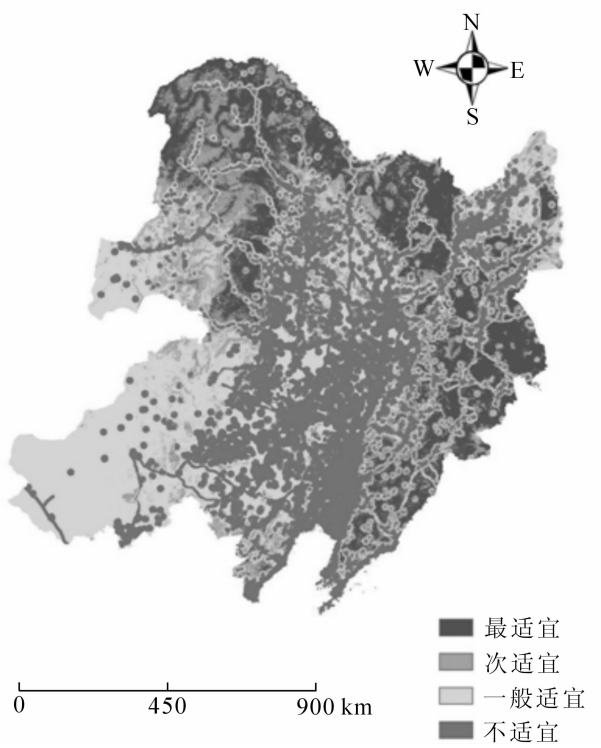


图 3 东北地区东北虎生境适宜性综合评价分区

Figure 3 Comprehensive evaluation distribution of the Amur tigers habitat suitability

表 3 东北地区东北虎生境适宜性综合评价分区面积统计表

Table 3 The partition area of comprehensive evaluation of Amur tigers habitat suitability

适宜性等级	面积/hm ²	所占比例/%
最适宜	346 388.4	21.97
次适宜	265 464.8	16.83
一般适宜	347 176.0	22.02
不适宜	617 676.9	39.18

5 参考文献

- [1] 李钟汶, 邬建国, 寇晓军, 等. 东北虎分布区土地利用格局与动态[J]. 应用生态学报, 200, **20**(3): 713 – 724.
LI Zhongwen, WU Jianguo, KOU Xiaojun, *et al.* Land use pattern and its dynamic changes in Amur tiger distribution region [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2009, **20**(3): 713 – 724.
- [2] 周绍春, 孙海义, 张明海, 等. 黑龙江省东北虎分布区域及其数量动态[J]. 兽类学报, 2008, **28**(2): 165 – 173.
ZHOU Shaochun, SUN Haiyi, ZHANG Minghai, *et al.* Regional distribution and population size fluctuation of wild Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) in Heilongjiang Province [J]. *Acta Theriol Sin*, 2008, **28**(2): 165 – 173.
- [3] 曲艺, 栾晓峰. 基于最小费用距离模型的东北虎核心栖息地确定与空缺分析[J]. 生态学杂志, 2010, **29**(9): 1866 – 1874.
QU Yi, LUAN Xiaofeng. Core habitat identification and gap analysis for Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) based on least-costdistance model [J]. *Chin J Ecol*, 2010, **29**(9): 1866 – 1874.
- [4] 李冰, 张恩迪, 张振华, 等. 吉林珲春自然保护区东北虎种群的初步监测[J]. 兽类学报, 2008, **28**(4): 333 – 341.
LI Bing, ZHANG Endi, ZHANG Zhenhua, *et al.* Preliminary monitoring of Amur tiger population in Jilin Hunchun National Nature Reserve [J]. *Acta Theriol Sin*, 2008, **28**(4): 333 – 341.
- [5] 郭玉荣, 刘颖, 许鲁, 等. 东北虎林园虎粪的资源化利用研究[J]. 野生动物学报, 2014, **35**(1): 15 – 18.
GUO Yurong, LIU Ying, XU Lu, *et al.* Resource value and utilization of tiger feces in Siberian Tiger Park [J]. *Chin J Wildlife*, 2014, **35**(1): 15 – 18.
- [6] 刘振生, 滕丽微, 李枫, 等. 笼养和半散放东北虎行为时间分配及活动规律差异的比较[J]. 生态学杂志, 2004, **23**(1): 20 – 23.
LIU Zhensheng, TENG Liwei, LI Feng, *et al.* Differences of time budget and activity rhythm of captive and semi-free Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) [J]. *Chin J Ecol*, 2004, **23**(1): 20 – 23.
- [7] 滕丽微. 笼养条件下东北虎行为模式的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2001.
TENG Liwei. *A Study on the Behavioral Models of Amur Tiger in Captivity* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2001.
- [8] KERLEY L L, GOODRICH J M, MIQUELLE D G, *et al.* Reproductive parameter of wild female Amur (Siberian) tigers (*Pantheratighs altaica*) [J]. *J Mammal*, 2003, **84**(1): 288 – 298.
- [9] GOODRICH J M, MIQUELLE D G. Translocation of problem Amur tigers *Panthera tigris altaica* to alleviate tiger-human conflicts [J]. *Oryx*, 2005, **39**(4): 454 – 457.
- [10] 张常智, 张明海, 姜广顺. 中国野生东北虎数量监测方法有效性评估[J]. 生态学报, 2012, **32**(19): 5943 – 5952.
ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun. Assessment of monitoring method for population abundance of Amur tiger in Northeast China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(19): 5943 – 5952.
- [11] 朴正吉, 睢亚臣, 崔志刚, 等. 长白山自然保护区猫科动物种群数量变化及现状[J]. 动物学杂志, 2011, **46**(3): 78 – 84.
PIAO Zhengji, SUI Yachen, CUI Zhigang, *et al.* The history and current status of felid population in Changbai Mountain Nature Reserve [J]. *Chin J Zool*, 2011, **46**(3): 78 – 84.
- [12] 张常智, 张明海. 黑龙江省东完达山地区东北虎猎物种群现状及动态趋势[J]. 生态学报, 2011, **31**(21): 6481 – 6487.
ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai. Population status and dynamic trends of Amur tiger's prey in Easter Wandashan Mountain, Heilongjiang Province [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(21): 6481 – 6487.
- [13] 周绍春, 张明海, 孙海义, 等. 黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量[J]. 生态学报, 2011, **31**(1): 145 – 153.
ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi, *et al.* Prey biomass of the Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(1): 145 – 153.
- [14] 李颖. 挥春地区基于东北虎生境选择的生态廊道研究[D]. 吉林: 延边大学, 2011.
LI Ying. *The Research on Ecology Corridor of Amur Tiger Based on Habitat Choice Research in Hunchun Area* [D].

Jilin: Yanbian University, 2011.

- [15] 罗述金. 中国虎的概况[J]. 生物学通报, 2010, **45**(1): 1 – 5.
LUO Shujin. Tigers in China [J]. *Bull Biol*, 2010, **45**(1): 1 – 5.
- [16] 中国科学院中国植被图编辑委员会. 1:1 000 000 中国植被图集[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [17] 周绍春. 东北虎及其猎物的种群大小、生境选择与评价研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
ZHOU Shaochun. *Relationship Between Amur Tiger and Prey: Population Size, Habitat Selection and Evaluation in Eastern Wandashan Mountains of Heilongjiang Province* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2011.
- [18] 周建飞, 曾光明, 黄国和, 等. 基于不确定性的城市扩展用地生态适宜性评价[J]. 生态学报, 2007, **27**(2): 774 – 783.
ZHOU Jianfei, ZENG Guangming, HUANG Guohe, *et al.* The ecological suitability evaluation on urban exoansion land based on uncertainties [J]. *Acta Ecol Sin*, 2007, **27**(2): 774 – 783.
- [19] 李振新. 中国长白山地区东北虎潜在栖息地研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [20] 马天. 黑龙江省野生东北虎调查管理信息系统的研建[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
MA Tian. *Research and Construction of Investigation Information Management System of Panthera tigris altaica in Heilongjiang Province* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.
- [21] 杜婧. 黑龙江省野生东北虎生境适宜度评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
DU Jing. *The Suitability Evaluation of the Wild Amur Tiger Habitat in Heilongjiang Province* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014.
- [22] 黄辉玲, 吴次芳, 张守忠. 黑龙江科技学院建筑黑龙江省土地整治规划效益分析与评价[J]. 农业工程学报, 2012, **28**(6): 240 – 246.
HUANG Huiling, WU Cifang, ZHANG Shouzhong. Benefits analysis and evaluation on land consolidation lanning in Heilongjiang province [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2012, **28**(6): 240 – 246.
- [23] 向欣, 罗煜, 程红胜, 等. 基于层次分析法和模糊综合评价的沼气工程技术筛选[J]. 农业工程学报, 2014, **30**(18): 205 – 212.
XIANG Xin, LUO Yu, CHENG Hongsheng, *et al.* Biogas engineering technology screening based on analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation[J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2014, **30**(18): 205 – 212.
- [24] 鲍艳, 胡振琪, 王建峰, 等. 层次分析法在土地开发中的适宜性评价[J]. 西安科技大学学报, 2005, **25**(2): 179 – 183.
BAO Yan, HU Zhenqi, WANG Jianfeng, *et al.* Analytical hierarchy process based on GIS assessment of suitability in land exploitation and consolidation [J]. *J Xi'an Univ Sci Technol*, 2005, **25**(2): 179 – 183.
- [25] 张明海, 马建章. 中国野生东北虎现状及其保护愿景展望[J]. 动物学杂志, 2010, **45**(1): 165 – 168.
ZHANG Minghai, MA Jianzhang. Current status and protection vision of wild northeast tiger in China [J]. *Chin J Zool*, 2010, **45**(1): 165 – 168.