

基于占域模型的中国珲春地区人虎冲突特征分析

张日¹ 靳勇超^{1,2} 朱世兵^{1,3} 李冬伟⁴ 孙权⁵ 张明海^{1*}

(1 东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 哈尔滨 150040) (2 世界自然基金会(瑞士)北京代表处, 北京 100006)

(3 黑龙江省科学院自然与生态研究所, 哈尔滨 150040) (4 吉林省珲春市野生动植物保护协会, 珲春 133300)

(5 长白山森工集团有限公司汪清林业分公司, 汪清 133200)

摘要: 人虎冲突是全球野生虎 (*Panthera tigris*) 保护和种群恢复工作迫切需要解决的问题, 而人虎冲突的分布特征是开展冲突管理的重要科学依据。珲春地区是东北虎 (*P. t. altaica*) 从俄罗斯向中国扩散的重要廊道, 随着东北虎种群数量的逐步增加, 该地区的人虎冲突特征亟需开展研究。本文以2016–2020年珲春地区的人虎冲突事件为基础, 基于占域模型分析获得人虎冲突发生位点的特征, 探究了坡向、海拔、距猎物距离等12个因素对人虎冲突的影响。结果显示, 259起人虎冲突均为虎捕食家畜事件, 其中东北虎捕食牛的事件约占90%, 且主要发生在每年的5–7月。从特征来看, 坡向 ($\sum w_i = 0.44$)、猎物分布 ($\sum w_i = 0.28$)、海拔 ($\sum w_i = 0.18$) 和距针阔混交林的距离 ($\sum w_i = 0.13$) 对人虎冲突的发生具有较大的影响。人虎冲突在中海拔的阴坡、针阔混交林和猎物活动频繁的区域占域率更高。未来珲春地区应从加强放牧管理、划分不同等级的人虎冲突管理范围和提高社区居民的保护意识等方面来缓解人虎冲突的发生。

关键词: 东北虎; 人虎冲突; 占域模型; 珲春地区

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号: 1000–1050 (2022) 02–0144–08

Analysis of human–tiger conflict pattern based on the occupancy model in Hunchun, China

ZHANG Ri¹, JIN Yongchao^{1,2}, ZHU Shibing^{1,3}, LI Dongwei⁴, SUN Quan⁵, ZHANG Minghai^{1*}

(1 College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

(2 World Wild Fund for Nature, Beijing 100006, China)

(3 Institute of Natural Resources and Ecology, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin 150040, China)

(4 Wildlife Protection Association of Hunchun, Hunchun 133300, China)

(5 Wangqing Forestry Branch of Changbai Mountain Forest Industry Group Limited Company, Wangqing 133200, China)

Abstract: Human–tiger conflict (HTC) is an urgent global issue for the conservation and population restoration of tigers (*Panthera tigris*). Understanding the associated factors related to human–tiger conflict is an important reference of HTC management. Hunchun is an important region for Amur tiger (*P. t. altaica*) population exchanging between China and Russia, and with the increase of tiger population, it is increasingly urgent to study the correlated factors of HTC in Hunchun. Based on the HTC cases from 2016 to 2020 in Hunchun, we used the occupancy model to analyze the effects of 12 factors related to HTC in the region, such as aspect, altitude, and distance to prey. The results showed that all 259 HTC were caused by tigers preying on livestock, approximately 90% of which are Amur tigers preying on cattle, and most of HTC occurred from May to July every year. The main important factors on HTC were aspect ($\sum w_i = 0.44$), prey distribution ($\sum w_i = 0.28$), altitude ($\sum w_i = 0.18$), and distance to the coniferous and broad-leaved mixed forest ($\sum w_i = 0.13$). Human–tiger conflict is more likely to occur on shady slopes, mixed broadleaf-conifer forest, and areas with frequent prey activities. Therefore, to mitigate the HTC in the region, we recommend strengthening management of grazing in the forest, mapping the different regions of management strategy for HTC, and increasing the conservation

基金项目: 世界自然基金会 (10000766)

作者简介: 张日 (1996–), 男, 硕士研究生, 主要从事人兽冲突研究。

收稿日期: 2021–09–06; 接受日期: 2021–12–16

* 通讯作者, Corresponding author, E-mail: zhangminghai2004@126.com

awareness of local communities.

Key words: Amur tiger; Human-tiger conflict; Occupancy model; Hunchun

人兽冲突已成为威胁全球濒危物种长期生存和繁衍的重要因素之一(李蔓等, 2020)。大型猫科动物与人类之间的冲突尤为明显, 减少冲突对大型猫科动物保护工作的成功至关重要(Trev-es and Karanth, 2003; Woodroffe *et al.*, 2005; Inskip and Zimmermann, 2009)。虎(*Panthera tigris*)是全球最濒危的物种之一, 由于虎对其分布区的居民造成大量的人身和财产损失, 使得人虎冲突问题格外突出(Goodrich, 2010)。国内外学者对人虎冲突的研究主要包括人虎冲突形式(张常智, 2013)和人虎冲突管理措施和处理方法(Goodrich, 2010; Bhattarai *et al.*, 2019), 以及对虎存在的容忍度(Inskip *et al.*, 2013; Struebig *et al.*, 2018)等方面。在我国, 虎对家畜的捕食是人虎冲突的主要表现形式(Goodrich, 2010)。目前国内对人虎冲突的研究较少, 仅对东北虎(*P. t. altaica*)与人类的冲突形式和规律(Li *et al.*, 2009; Gao *et al.*, 2020)进行了研究, 而很少对人虎冲突的分布特征开展研究。人虎冲突的分布特征是开展人虎冲突风险管理的重要基础(窦亚权等, 2019), 这对于进一步缓解人虎冲突具有重要的参考意义。

珲春地区是中国和俄罗斯东北虎种群跨境交流的重要区域(张常智, 2013; 刘芳, 2016), 也是东北虎种群最集中和活动最频繁的区域(陈九屹等, 2011)。随着东北虎种群数量的不断增长(兰存子等, 2015), 珲春地区以东北虎对家畜捕食为主的人虎冲突事件呈逐年增多的趋势(Pettigrew *et al.*, 2012), 加大了人虎冲突管理的压力, 不利于东北虎种群的保护和恢复(Qi *et al.*, 2021; Jin *et al.*, 2021)。开展人虎冲突的空间分布特征研究是人虎冲突风险管理的重要前提。本研究以2016—2020年的人虎冲突事件为基础, 基于占域模型(Occupancy model)建立单物种单季节占域模型, 从海拔、坡向、距居民点距离等12个因子对珲春地区人虎冲突的分布特征进行研究, 探讨人虎冲突的发生模式, 为东北虎豹国家公园乃至其他区域的人虎冲突风险管理提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究地区概况

吉林省珲春地区(北纬42°43'~43°29', 东经130°17'~131°15')位于吉林省延边朝鲜族自治州东部, 东与俄罗斯远东地区相邻, 西南与朝鲜相望。地势南低北高, 南部最低海拔5 m, 北部最高海拔973 m; 该地属图们江水系, 境内河网密布, 径流年际变化大, 丰、枯水期相差悬殊, 丰水期水流湍急, 有图们江、珲春河等大小河流52条(图1)。气候属于中温带湿润季风气候, 主要特点是季风明显, 春季干燥多风, 夏季温热多雨, 秋季凉爽少雨, 冬季寒冷漫长。年日照时数2 150~2 480 h。年平均气温为3℃~6℃, 极端最低气温-23℃~-34℃, 最高气温34℃~38℃。无霜期120~130 d。植被以蒙古栎(*Quercus mongolica*)和水曲柳(*Fraxinus mandschurica*)为代表的阔叶混交林为主; 主要分布红松(*Pinus koraiensis*)、水曲柳、红豆杉(*Taxus cuspidata*)等国家重点保护植物; 分布的大型哺乳动物主要为东北虎、东北豹(*Panthera pardus orientalis*)、梅花鹿(*Cervus nippon*)、马鹿(*C. elaphus*)、野猪(*Sus scrofa*)、狍(*Capreolus pygargus*)等。该地区是中俄东北虎跨境迁移最活跃的区域, 也是中国境内东北虎野外种群分布数量最多的区域。截止2018年初, 该区域已经监测到东北虎至少27只, 东北豹至少33只, 共发现4个东北虎家族和2个东北豹家族*。虎豹数量的增加, 导致该地区人虎冲突问题较为突出。

1.2 数据收集与处理

人虎冲突事件数据来源于珲春东北虎国家级自然保护区, 珲春市林业局野生动物损害补偿办公室(2016—2020年), 事件数据记录内容有被捕杀牲畜种类、性别、数量以及个体大小, 事发时间和地点。鉴定人员通过牲畜尸体周围散布的足迹和遗留的毛发区分是东北虎还是东北豹造成的牲畜伤亡。东北虎猎物出现数据为2020年冬季通过雪地样线调查(孔维尧, 2019)以及2016—2020年珲春市林业局smart巡护管理体系数据获

* 褚新文. 2018. 守护虎豹啸山林——珲春林业东北虎豹保护纪实. 绿色中国, 503 (13): 43.

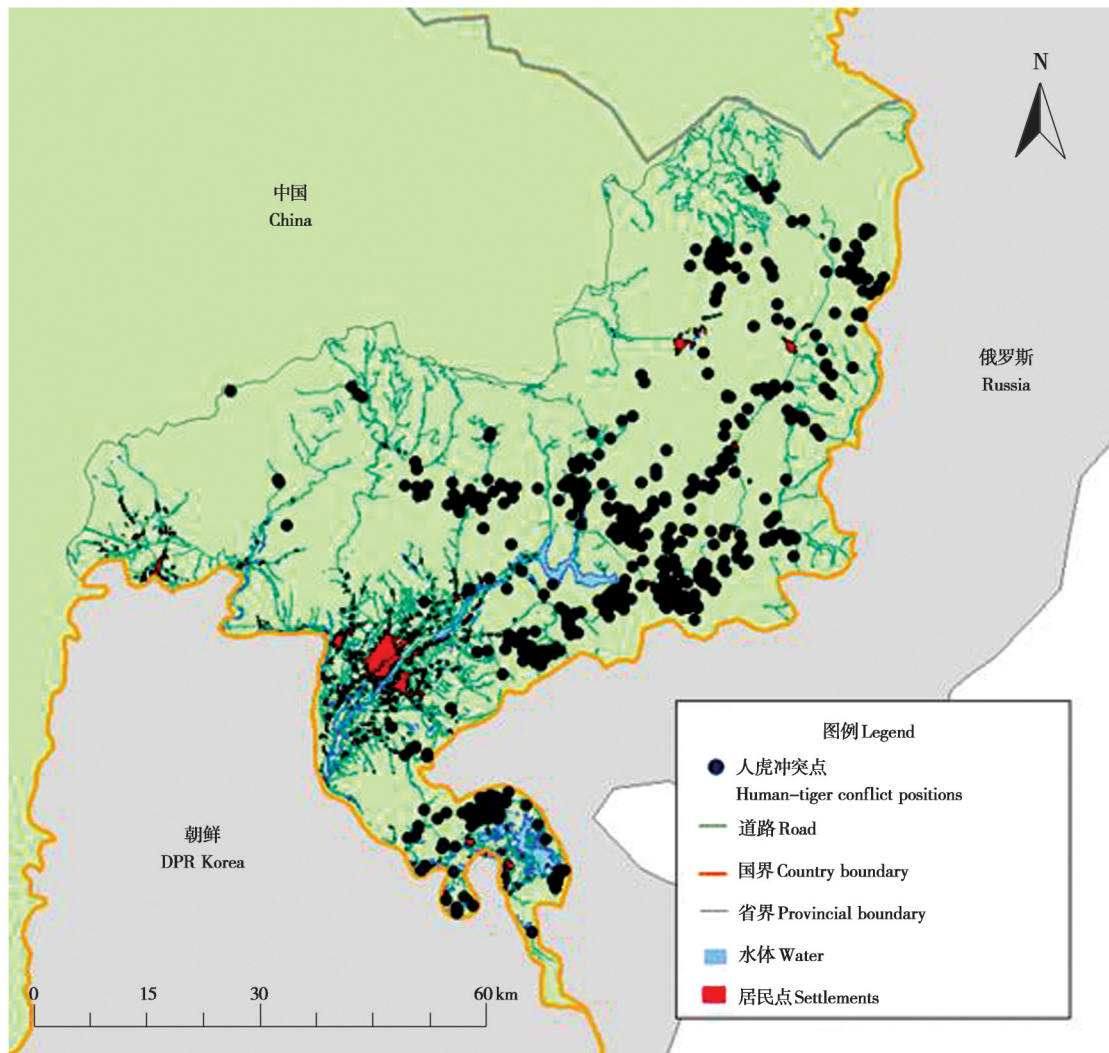


图1 研究区域和人虎冲突位置

Fig. 1 Location of study area and Human-tiger conflicts

取，主要包括梅花鹿、野猪、狍以及马鹿，记录猎物出现点的经纬度坐标和位点半径 100 m 内植被类型等信息。牧场范围数据获取于珲春市林业局。

高程 DEM 影像和卫星遥感影像来自于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/sources/>)，分辨率为 30 m × 30 m。利用 ENVI 5.5 进行辐射校正、去云和降噪等处理，结合珲春地区 1:500 万地形图以及猎物调查中获取的植被信息，利用最大似然法 (Maximum Likelihood) 进行土地利用解译。运用 ENVI 5.5 中混淆矩阵工具进行精度评估，精度评估的结果为 87%。土地利用类型主要包括建设用地、水体、农业用地、阔叶林、针叶林以及针阔混交林和道路。

依据相关研究 (Li *et al.*, 2009) 和研究地区的实际状况，我们选择海拔、坡度、坡向、距居民区距离、距水源距离、距农田距离、距阔叶林距离、距针叶林距离、距针阔混交林距离、距主要道路距离、距牧场距离和距猎物距离作为协变量 (表 1)，该数据通过 ArcGIS10.3 计算获取。

1.3 占域模型

利用占域模型中的单物种单季节占域模型进行人虎冲突时间空间特征分析，选取 2016—2020 年相互独立的人虎冲突事件用于模型构建。该模型需满足 4 点假设 (MacKenzie *et al.*, 2006): (1) 调查期间各样本单元符合封闭假设; (2) 采样周期以及采样单元之间相互独立; (3) 无未模拟到的异质性，且

表 1 建立人虎冲突占域模型的解释变量

Table 1 Variables explanatory for the human-tiger conflict in occupancy modeling

变量 Variable	描述 Description	数据类型 Data type
海拔 Altitude (al)	人虎冲突发生位点的海拔 Altitude of human-tiger conflict sites	连续变量 Numeric
坡度 Slope (sl)	人虎冲突发生位点的坡度 Slope of human-tiger conflict sites	连续变量 Numeric
坡向 Aspect (as)	人虎冲突发生位点的坡向 Aspect of human-tiger conflict sites	连续变量 Numeric
距居民点距离 Near1 (n1)	人虎冲突发生位点距居民区的最近距离 The nearest distance between the site of human-tiger conflict and residential areas	连续变量 Numeric
距水源距离 Near2 (n2)	人虎冲突发生位点距河流的最近距离 The nearest distance between the site of human-tiger conflict and the river	连续变量 Numeric
距农田距离 Near3 (n3)	人虎冲突发生位点距农田的最近距离 The nearest distance between the site of human-tiger conflict and the farmland	连续变量 Numeric
距针叶林距离 Near4 (n4)	人虎冲突发生位点距针叶林的最近距离 The nearest distance between the site of human-tiger conflict and the coniferous forest	连续变量 Numeric
距针阔混交林距离 Near5 (n5)	人虎冲突发生位点距针阔混交林的最近距离 The nearest distance between the site of human-tiger conflict and the mixed broadleaf-conifer forest	连续变量 Numeric
距阔叶林距离 Near6 (n6)	人虎冲突发生位点距阔叶林的最近距离 The nearest distance between the site of human-tiger conflict and the broad-leaved forest	连续变量 Numeric
距主要道路距离 Near road (nr)	人虎冲突发生位点距主要道路的最近距离 The nearest distance between the site of human-tiger conflict and the main road	连续变量 Numeric
距牧场距离 Near pasture (np)	人虎冲突发生位点距牧场的最近距离 The nearest distance between the site of human-tiger conflict and the pasture	连续变量 Numeric
距猎物距离 Near prey (nprey)	人虎冲突发生位点距猎物出现点的最近距离 The nearest distance between the site of human-tiger conflict and the site of prey	连续变量 Numeric

第一列变量中括号里内容为对应变量的简写
In the first column of variables, the words in brackets are shorthand for the corresponding variables

都可用变量来解释；(4) 物种鉴定正确，无错误识别。根据此假设条件，由于东北虎捕食的家畜主要为牛 (张常智，2013)，以家畜牛的日行进距离为依据 (常国军，2014)，把研究区域划分为 3 km × 3 km 网格单元，在独立网格单元中随机选取一个人虎冲突事件的位点数据，来满足采样单元相互独立。

占域模型的构建需要每个时间段中探测到和未探测到数据。“1”代表在某采样单元有人虎冲突事件发生，“0”表示在该采样单元未探测到人虎冲突事件的发生。以 1 年为 1 周期，连续 5 年不间断探测，由此形成人虎冲突事件探测历史，以构建单物种单季节占域模型。为此选定 12 个占域率协变量来参与模型的拟合 (表 1)。

该研究所建立的单物种单季节占域模型是在软件 Presence (MacKenzie *et al.*, 2006) 中实现的。使用 SPSS 20.0 将各变量进行标准化处理，利用 Pearson 相关性分析检验 12 个连续协变量之间的相关性，将显著不相关的变量进行随机组合，然后利用所有协变量组合在 Presence 中进行模型拟合，完成占域模型的构建。在得到的所有拟合模型中

剔除不收敛的模型 (Long *et al.*, 2011)，并将剩余模型根据赤池信息量准则 (Akaike Information Criterion, AIC) 进行排序以判断模型拟合的优劣程度， $\Delta AIC \leq 2$ 的模型为需要保留的等价最优模型 (Burnham and Anderson, 2002; Berger and Barbieri, 2004)，完成模型的选择。将所列出的最优模型中含有相同协变量的模型权重值相加，得到该协变量的权重值，权重值代表了协变量对人虎冲突占域率的影响程度。在没有单一模型满足赤池信息量权重值 (AIC Wgt) ≥ 0.90 的情况下，利用 B. Mitchell ([www. uvm. edu/% 7Ebmitchel/software. html](http://www.uvm.edu/~7Ebmitchel/software.html)) 设计的电子表格来进行模型平均 (Burnham and Anderson, 2002)，通过重新计算赤池权重来评估其平均系数 (β) 和各自的 95% 置信区间，以此获取模型的参数估计值，判断协变量参数对模型的影响程度。

2 结果

2016—2020 年共计发生人虎冲突事件 259 起。其中主要损失牲畜为牛的 233 起，占总冲突事件的 90%；其次为马，共 18 起，占 7%。从时间上来

看,人虎冲突事件主要发生在每年5—7月,其次为8—10月。

根据占域模型研究方法的前提和要求,167起随机人虎冲突事件被用于模型的构建。通过对拟合模型的筛选得到43个收敛模型,其中 $\Delta AIC \leq 2$ 的最优模型有6个(表2),分别是psi(al, as), p(.); psi(as, nprey), p(.); psi(nprey), p(.); psi(as, nr, nprey), p(.); psi(as, n1, n5), p(.); psi(al, as, n5), p(.)。这6个最优拟合模型中包括6个协变量:海拔、坡向、距居民区的距离、距针阔混交林的距离、距主要道路的距离和距猎物出现点的距离。

结果显示,对人虎冲突事件发生影响最大的因子为坡向,权重值($\sum w_i$)为0.44,其次为距猎物的距离($\sum w_i = 0.28$)、海拔($\sum w_i = 0.18$)、距针

表2 人虎冲突占域模型的选择结果

Table 2 Selection results of human-tiger conflict occupancy model

模型 Model	AIC	ΔAIC	AIC Wgt	Model Likelihood	No. Par.
psi(al,as),p(.)	737.67	0	0.118	1	4
psi(as,nprey),p(.)	737.87	0.20	0.107	0.905	4
psi(nprey),p(.)	738.25	0.58	0.089	0.748	3
psi(as,nr,np),p(.)	738.42	0.75	0.081	0.687	5
psi(as,n1,n5),p(.)	738.71	1.04	0.070	0.595	5
psi(al,as,n5),p(.)	739.07	1.40	0.059	0.497	5
psi(as,n6,nprey),p(.)	739.81	2.14	0.041	0.343	5
psi(n6,nprey),p(.)	739.87	2.20	0.039	0.333	4
psi(n1,n6),p(.)	740.01	2.34	0.037	0.310	4
psi(n3,nprey),p(.)	740.20	2.53	0.033	0.282	4
psi(as,n1),p(.)	740.24	2.57	0.033	0.277	4
psi(n2,np),p(.)	740.77	3.10	0.025	0.212	4
psi(n6,nr),p(.)	740.81	3.14	0.025	0.208	4
psi(np),p(.)	740.83	3.16	0.024	0.206	3
psi(as,n1,n6),p(.)	741.05	3.38	0.022	0.185	5
psi(as,np),p(.)	741.16	3.49	0.021	0.175	4
psi(al,n4),p(.)	741.31	3.64	0.019	0.162	4
psi(al,n5),p(.)	741.58	3.91	0.017	0.145	4
psi(nr,np),p(.)	741.60	3.93	0.017	0.140	4
psi(as,n1,n4),p(.)	742.09	4.42	0.013	0.110	5
psi(as,n5,np),p(.)	742.17	4.50	0.013	0.105	5
Model average			0.903		

ΔAIC 是指该模型与最小AIC模型的AIC值之差; AIC Wgt是模型权重; No. Par. 是参数数量; 黑体表示6个最优拟合模型

ΔAIC is the difference between the model and the smallest AIC model. AIC Wgt is model weight; No. Par. is the number of parameters; The boldface part represents six optimal fitting models

阔混交林的距离($\sum w_i = 0.13$)(表3)。6个影响因子表明,人虎冲突事件主要发生在中高海拔的阴坡,以及东北虎猎物活动较频繁的区域。此外,东北虎捕食家畜发生在针阔混交林林型中的概率更大,且远离道路和居民点。

表3 影响人虎冲突的变量参数估计值

Table 3 Parameters values of variable affecting human-tiger conflict

变量 Covariate	β	SE	Lower CI (β)	Upper CI (β)	$\sum w_i$
坡向 Aspect	-0.16	0.07	-0.68	0.37	0.44
距猎物的距离 Near prey	-0.03	0.01	-0.14	0.07	0.28
海拔 Altitude	0.11	0.07	-0.40	0.61	0.18
距针阔混交林的距离 Near5	-0.03	0.01	-0.76	0.58	0.13
距道路的距离 Near road	0.05	0.04	-0.32	0.43	0.08
距居民区的距离 Near1	-0.06	0.07	-0.57	0.46	0.07

β 为参数估计值; SE为标准误差; Lower CI (β)为参数估计值95%置信区间下限; Upper CI (β)为参数估计值95%置信区间上限; $\sum w_i$ 为变量权重

β is the parameter estimation; SE is the standard error; Lower CI (β) is the Lower 95 % confidence interval of the parameter estimation; The Upper CI (β) is the Upper 95 % confidence interval of the parameter estimation; $\sum w_i$ is the variable weight

3 讨论

人虎冲突的研究对我国东北虎种群的恢复和保护具有重要的意义(Qi *et al.*, 2021)。老爷岭南部珲春地区是东北虎在中国的重要栖息地,是东北虎从俄罗斯向中国扩散的重要廊道(Hebblewhite *et al.*, 2012)。占域模型已被广泛应用在生态学研究,有关研究包括物种分布(Kéry *et al.*, 2013)、物种与栖息地之间的关系(Linkie *et al.*, 2007; Karanth *et al.*, 2011)、群落多样性动态和指标(Rovero *et al.*, 2014)等,模型使用已较为成熟。本研究利用占域模型,基于坡向、坡度、海拔、距居民区距离等12个因子和259起人虎冲突事件,分析了珲春地区人虎冲突的分布特征,研究结果表明人虎冲突主要发生在远离居民点和道路的针阔混交林的阴坡位置,这对于珲春地区的人虎冲突风险管理具有重要参考意义。

地形地势影响人兽冲突高危区域的分布(史晓昀等, 2019),会对人虎冲突事件的发生产生一定影响。人虎冲突事件主要发生在中海拔的阴坡

位置，这与家畜及猎物的食草作用以及植被的生长偏爱有关。在野外，家畜会自行寻找喜食的禾本科和莎草科植物(李叶等, 2013)，阴坡土壤含水量高，禾本科和莎草科植物丰富度最高，阳坡次之(张倩等, 2019)，同时在中等海拔地区植物丰富度最高(刘玉祯等, 2021)，家畜主要聚集在满足该条件的山坡进行采食，增加了以捕食牲畜为主的人虎冲突事件发生的概率。

东北虎猎物的分布对于东北虎的捕食行为具有重要影响(Karanth and Stith, 1999; Miquelle *et al.*, 2005)，猎物的空间分布对调控食肉动物分布和捕食行为起到决定性作用(Carter *et al.*, 2015)。林间放牧的家畜与东北虎猎物产生食物生态位重叠(毕帅奇和毕俊怀, 2009; 吕忠海等, 2020)，导致家畜与东北虎猎物活动在相同或相近的区域。考虑到捕食成本，东北虎在重叠区域更偏向于捕食体型较大、行动能力较弱的家畜(Zohary *et al.*, 1998; Landa *et al.*, 1999)，如牛。因此东北虎猎物的活动范围对以捕食牲畜为主的人虎冲突事件的发生具有一定影响。

在阔叶林、针叶林和针阔混交林3种林型中，针阔混交林对人虎冲突发生的影响更为显著。相对于针叶林，阔叶林和针阔混交林这两种林型的郁闭度更高，有蹄类动物和家畜活动更为频繁。本研究结果显示距针阔混交林距离是影响人虎冲突发生的重要因子，而针阔混交林更适宜东北虎的生存(李冰, 2009; 李维平等, 2017)。因此在东北虎生境中应禁止家畜的自由活动，可减少人虎冲突事件的发生。此外，人虎冲突远离道路与村庄居民点，是东北虎躲避危险的一种行为表现(Wang *et al.*, 2018; Xiao *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2019)。

保护管理建议：减少人虎冲突对于提高东北虎种群的保护成效至关重要。首先，人虎冲突事件的发生受环境因素的影响，主要发生在家畜野外觅食地点和为东北虎提供更好的隐蔽条件的针阔混交林，因此，应禁止在东北虎活动频繁的针阔混交林中放牧，并加强其他东北虎活动区域的放牧管理；其次，人虎冲突的发生虽然远离道路和人类居住地，但也应依据东北虎的分布范围以及人类活动的范围和频次，划定不同等级的人兽冲突管理区域，制定人虎冲突防范指南，提高当地社区的保护意识。

参考文献：

- Berger J O, Barbieri M M. 2004. Optimal predictive model selection. *Annals of Statistics*, **32** (3): 870–897.
- Bhattarai B R, Wright W, Morgan D, Cook S, Baral H S. 2019. Managing human–tiger conflict: lessons from Bardia and Chitwan National Parks, Nepal. *European Journal of Wildlife Research*, **65** (3): 4.
- Burnham K P, Anderson D R. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-theoretic Approach*. Springer New York.
- Carter N, Jasny M, Gurung B, Liu J G. 2015. Impacts of people and tigers on leopard spatiotemporal activity patterns in a global biodiversity hotspot. *Global Ecology and Conservation*, **3**: 149–162.
- Chen J Y, Nashun D, Sun Q H, Zhang L J, Tang J R, Lang J M, Liu T, Liu K P, Xiao W H, Bao W D. 2011. Amur tiger and prey in Jilin Hunchun National Nature Reserve, China. *Chinese Journal of Zoology*, **46** (2): 46–52. (in Chinese)
- Dou Y Q, Yu H H, Li Y, Luo M C. 2019. Current situation and management suggestions of human–wildlife conflict in nature reserves in China. *Chinese Journal of Wildlife*, **40** (2): 491–496. (in Chinese)
- Gao Z Y, Wang J F, Zhang M H. 2020. Analysis of causes and effects of human–tiger conflict and countermeasures. *International Journal of Ecology*, **9** (4): 294–303.
- Goodrich J M. 2010. Human–tiger conflict: A review and call for comprehensive plans. *Integrative Zoology*, **5** (4): 300–312.
- Hebblewhite M, Zimmermann F, Li Z, Miquelle D G, Zhang M, Sun H, Morschel F, Wu Z, Sheng L, Purekhovsky A, Chunquan Z. 2012. Is there a future for Amur tigers in a restored tiger conservation landscape in Northeast China? *Animal Conservation*, **15** (6): 579–592.
- Inskip C, Zimmermann A. 2009. Human–felid conflict: a review of patterns and priorities worldwide. *Oryx*, **43** (1): 18–34.
- Inskip C, Ridout M, Fahad Z, Tully R, Barlow A, Barlow C G, Islam M A, Roberts T, MacMillan D. 2013. Human–tiger conflict in context: risks to lives and livelihoods in the Bangladesh Sundarbans. *Human Ecology*, **41** (2): 169–186.
- Jin Y C, Kong W Y, Yan H, Bao G D, Zhang M H. 2021. Multi-scale spatial prediction of wild boar damage risk in hunchun: a key tiger range in China. *Animals*, **11**(4). DOI: 10.3390/ani11041012
- Karanth K U, Gopalaswamy A M, Kumar N S, Vaidyanathan S, Nichols J D, MacKenzie D I. 2011. Monitoring carnivore populations at the landscape scale: Occupancy modelling of tigers from sign surveys. *Journal of Applied Ecology*, **48** (4): 1048–1056.
- Karanth K U, Stith B M. 1999. Prey depletion as a critical determinant of tiger population viability. In: Seidensticker J, Christie S, Jackson P eds. *Riding the Tiger*. Cambridge: Cambridge University Press, 100–113.
- Kéry M, Guillera-Arroita G, Lahoz-Monfort J J. 2013. Analysing

- and mapping species range dynamics using occupancy models. *Journal of Biogeography*, **40** (8): 1463–1474.
- Kong W Y. 2019. Multi-scale wild boar damage prediction in the key area of Siberian tiger distribution in Jilin province. Ph. D thesis. Harbin: Northeast Forestry University. (in Chinese)
- Lan C Z, Tian Y, Jin Y C. 2015. Conservation status and constraints for *Panthera tigris altaica* in China. *Sichuan Journal of Zoology*, **34** (5): 780–786. (in Chinese)
- Landa A, Gudvangen K, Swenson J E, Raskaft E. 1999. Factors associated with wolverine (*Gulo gulo*) predation on domestic sheep. *Journal of Applied Ecology*, **36** (6): 963–973.
- Li B, Zhang E, Liu Z. 2009. Livestock depredation by Amur tigers in Hunchun Nature Reserve, Jilin, China. *Acta Theriologica Sinica*, **29** (3): 231–238.
- Li B. 2009. Status of Amur tiger and prey population in Hunchun Nature Reserve, China and conservation research. Ph. D thesis. Shanghai: East China Normal University. (in Chinese)
- Li M, Fu Y W, Liao T, Li D R, Ran J H, Du Y P, Yang X Y. 2020. Distribution change and its causes of the clouded leopard (*Nefelis nebulosa*) in southeastern Sichuan. *Acta Ecologica Sinica*, **40** (17): 5940–5948. (in Chinese)
- Li W P, Bao H, Zhang M H. 2017. Habitat analysis and design of potential corridors for Amur tiger in Northeastern China. *Acta Theriologica Sinica*, **37** (4): 317–326. (in Chinese)
- Li Y, Wang B, Huang Y L, Li Y F, Li Q, Shi L. 2013. Microscopy histological analysis of diet and trophic niche of three free grazing livestock in Tianshan Mountain area. *Journal of Domestic Animal Ecology*, **34** (9): 65–68. (in Chinese)
- Linkie M, Dinata Y, Nugroho A, Haidir I A. 2007. Estimating occupancy of a data deficient mammalian species living in tropical rainforests: Sun bears in the Kerinci Seblat region, Sumatra. *Biological Conservation*, **137** (1): 20–27.
- Liu Y Z, Liu W T, Feng B, Shi G, Sun C C, Li C D, Zhang X F, Dong Q M. 2021. Effects of slope aspect and elevation on vegetation distribution pattern of alpine mountain meadow. *Acta Agrestia Sinica*, **29** (6): 1166–1173. (in Chinese)
- Liu F. 2016. Habitat evaluation and potential corridor analysis of wild Amur tiger in Hunchun, Jilin Province. Ph. D thesis. Beijing: Beijing Forestry University. (in Chinese)
- Long R A, Donovan T M, Mackay P, Zielinski W J, Buzas J S. 2011. Predicting carnivore occurrence with noninvasive surveys and occupancy modelling. *Landscape Ecology*, **26** (3): 327–340.
- Lv Z H, Zhang W Q, Liu H, Zhang M H, Li Y R. 2020. Comparison on feeding habits of *Cervus wallichii* and sympatric ungulates and domestic animals in green grass period. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **31** (2): 651–658. (in Chinese)
- MacKenzie D I, Nichols J D, Royle J A, Pollock K H, Bailey L L, Hines J E. 2006. Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence. *Wildlife Society Bulletin*, **34** (4): 1243–1244.
- Miquelle D G, Nikolaev I G, Goodrich J. 2005. Searching for the coexistence recipe: A case study of conflicts between people and tigers in the Russian Far East. In: Woodruffe R, Thirgood S eds. *People and Wildlife: Conflict or Co-existence?* Cambridge: Cambridge University Press, 305–322.
- Pettigrew M, Xie Y, Kang A L, Rao M, Goodrich J, Liu T, Berger J. 2012. Human–carnivore conflict in China: A review of current approaches with recommendations for improved management. *Integrative Zoology*, **7** (2): 10–26.
- Qi J Z, Gu J Y, Ning Y, Miquelle D G, Holyoak M, Wen D S, Liang X, Liu S Y, Roberts N J, Yang E Y, Lang J M, Wang F Y, Li C, Liang Z, Liu P Q, Ren Y, Zhou S C, Zhang M H, Ma J Z, Chang J, Jiang G S. 2021. Integrated assessments call for establishing a sustainable meta-population of Amur tigers in northeast Asia. *Biological Conservation*, **261**. DOI: 10.1016/j.biocon.2021.109250
- Rovero F, Martin E, Rosa M, Ahumada J A, Spitalé D. 2014. Estimating species richness and modelling habitat preferences of tropical forest mammals from camera trap data. *PLoS ONE*, **9**: e103300.
- Shi X Y, Shi X G, Hu Q, Guan T P, Fu Q, Zhang J, Yao M, Li S. 2019. Evaluating the potential habitat overlap and predation risk between snow leopards and free-range yaks in the Qionglai Mountains, Sichuan. *Biodiversity Science*, **27** (9): 951–959. (in Chinese)
- Struebig M J, Deere N J, Matthew L, Martyr D J, Betty M, Faulkner S C, Le C S C, Mangunjaya F M, Nigel L W, McKay J E. 2018. Addressing human–tiger conflict using socio-ecological information on tolerance and risk. *Nature Communication*, **9** (1): 3455.
- Treves A, Karanth K U. 2003. Human–carnivore conflict and perspectives on carnivore management worldwide. *Conservation Biology*, **17** (6): 1491–1499.
- Wang T M, Royle J A, Smith J L D, Zou L, Lu X Y, Li T, Yang H T, Li Z L, Feng R N, Bian Y J, Feng L M, Ge J P. 2018. Living on the edge: Opportunities for Amur tiger recovery in China. *Biological Conservation*, **217**: 269–279.
- Woodruffe R, Thirgood S, Rabinowitz A. 2005. The impact of human–wildlife conflict on natural systems. In: Woodruffe R, Thirgood S, Rabinowitz A eds. *People and Wildlife: Conflict or Co-existence?* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1–12.
- Xiao W H, Hebblewhite M, Robinson H, Feng L M, Zhou B, Mou P, Wang T M, Ge J P. 2018. Relationships between humans and ungulate prey shape Amur tiger occurrence in a core protected area along the Sino–Russian border. *Ecology and Evolution*, **8** (3): 11677–11693.
- Yang H T, Han S Y, Xie B, Mou P, Kou X J, Wang T M, Ge J P, Feng L. 2019. Do prey availability, human disturbance and habitat structure drive the daily activity patterns of Amur tigers (*Panthera tigris altaica*)? *Journal of Zoology*, **307** (2): 131–140.
- Zhang Q, Sun X M, Yang J, Kang Y K, Yao B H, Su J H. 2019. Effect of aspect on species functional group and species diversity in alpine meadow of the east of Qilian Mountain. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, **39** (8): 1480–1490. (in Chinese)

- Zhang C Z. 2013. Study on Amur tiger and prey monitoring, and conflict between tiger and human in Northeast China. Ph. D thesis. Harbin: Northeast Forestry University. (in Chinese)
- Zohary D, Tchernov E, Horwitz L. 1998. The role of unconscious selection in the domestication of sheep and goats. *Journal of Zoology*, **245** (2): 129–135.
- 孔维尧. 2019. 吉林省东北虎重点分布区多尺度野猪损害空间分布预测. 哈尔滨: 东北林业大学博士学位论文.
- 兰存子, 田瑜, 靳勇超. 2015. 我国东北虎的保护现状与制约因素. *四川动物*, **34** (5): 780–786.
- 史晓昀, 施小刚, 胡强, 官天培, 付强, 张剑, 姚蒙, 李晟. 2019. 四川邛崃山脉雪豹与散放牦牛潜在分布重叠与捕食风险评估. *生物多样性*, **27** (9): 951–959.
- 毕帅奇, 毕俊怀. 2009. 蒙古野驴与草食有蹄类家畜冬季食物竞争的研究. *内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版)*, **38** (1): 79–84.
- 刘芳. 2016. 吉林珲春野生东北虎栖息地生境评价与潜在廊道分析. 北京: 北京林业大学博士学位论文.
- 吕忠海, 张玮琪, 刘浩, 张明海, 李依然. 2020. 西藏马鹿与同域野生有蹄类、家畜草青期食性比较. *应用生态学报*, **31** (2): 651–658.
- 刘玉祯, 刘文亭, 冯斌, 时光, 孙彩影, 李彩弟, 张小芳, 董全民. 2019. 坡向和海拔对高寒山地草甸植被分布格局特征的影响. *草地学报*, **29** (6): 1166–1173.
- 李冰. 2009. 珲春自然保护区东北虎及猎物种群现状及保护研究. 上海: 华东师范大学博士学位论文.
- 李蔓, 付焱文, 廖婷, 李东睿, 冉江洪, 杜一平, 杨旭煜. 2020. 四川东南地区云豹 (*Neofelis nebulosa*) 分布区变化及其成因. *生态学报*, **40** (17): 5940–5948.
- 李维平, 包衡, 张明海. 2017. 中国东北虎栖息地分析与潜在生态廊道构建. *兽类学报*, **37** (4): 317–326.
- 李叶, 王兵, 黄永丽, 李彦飞, 李晴, 时磊. 2013. 天山地区三种自由放牧家畜食性和营养生态位的显微组织分析. *家畜生态学报*, **34** (9): 65–68.
- 陈九屹, 那顺得力格尔, 孙全辉, 张邈嘉, 唐继荣, 郎建民, 刘通, 刘鲲鹏, 肖文宏, 鲍伟东. 2011. 吉林珲春自然保护区东北虎及其猎物资源调查. *动物学杂志*, **46** (2): 46–52.
- 张倩, 孙小妹, 杨晶, 康宇坤, 姚宝辉, 苏军虎. 2019. 坡向对东祁连山高寒草甸群落物种功能群及其多样性的影响. *西北植物学报*, **39** (8): 1480–1490.
- 张常智. 2013. 东北虎及其猎物种群监测和人虎冲突研究. 哈尔滨: 东北林业大学博士学位论文.
- 常国军. 2014. 草食家畜的采食行为与牧场管理. *北京农业*, (15): 139.
- 窦亚权, 余红红, 李娅, 罗明灿. 2019. 我国自然保护区人与野生动物冲突现状及管理建议. *野生动物学报*, **40** (2): 491–496.