

吉林珲春自然保护区东北虎和东北豹及其有蹄类猎物的多度与分布

肖文宏[#] 冯利民[#] 赵小丹 杨海涛 窦海龙 程艳超

牟 溥 王天明^{*} 葛剑平

(北京师范大学生命科学学院, 北京 100875)

摘要: 珲春国家级自然保护区是东北虎(*Panthera tigris altaica*)、东北豹(*Panthera pardus orientalis*)等濒危物种在中国的核心分布区。为了探究该区域野生动物的多度水平和空间分布, 了解人类干扰情况, 我们运用相对多度指数(relative abundance index, RAI)分析了2013年4–6月设置于此的83个红外相机位点的监测数据。红外相机的总捕获天数6,060 d, 共捕获10科18种野生哺乳动物, 其中鼬科4种, 猫科动物3种, 犬科、鹿科和松鼠科各2种, 猪科、熊科、麝科、猯科和兔科各1种。研究期间共拍摄到东北虎11只个体, 东北豹13只个体。从相对多度指数来看, 东北虎的相对多度(0.84)远高于东北豹(0.48), 它们的有蹄类猎物中梅花鹿(*Cervus nippon*)的相对多度最高(2.18), 其次为狍(*Capreolus pygargus*)(1.53)和野猪(*Sus scrofa*)(0.92)。人类活动和放牧的相对多度水平(分别为40.64和2.76)显著高于野生动物。在空间分布上, 东北虎和梅花鹿主要在保护区的核心区分布, 且与保护区社区共管区的多度水平差异显著, 而东北豹在不同功能区之间的分布差异不显著, 狍在保护区北部的多度水平较高, 但各功能区之间差异不显著, 野猪在社区共管区的多度水平显著高于核心区。可见, 核心区频繁的人类活动和放牧活动对野生动物的保护产生了影响, 未来应加强关于人类干扰对虎、豹种群及其有蹄类猎物的影响评估。

关键词: 红外相机, *Panthera tigris altaica*, *Panthera pardus orientalis*, 多度, 空间分布, 人类干扰

Distribution and abundance of Amur tiger, Amur leopard and their ungulate prey in Hunchun National Nature Reserve, Jilin

Wenhong Xiao[#], Limin Feng[#], Xiaodan Zhao, Haitao Yang, Hailong Dou, Yanchao Cheng, Pu Mou, Tianming Wang^{*}, Jianping Ge

School of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875

Abstract: The Hunchun National Nature Reserve (HNNR) serves as core habitat for both Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) and Amur leopard (*Panthera pardus orientalis*) in Northeast China. To investigate the relative abundance of wildlife and human disturbance within the reserve, we analyzed images from a monitoring network of 83 camera traps deployed between April and June of 2013 in HNNR. Among the 6,060 total trap nights, 18 species of mammals were detected from the images, including four Mustelids, three Felids, two species each from Canidae, Cervidae and Sciuridae, and one species each from Suidae, Ursidae, Moschidae, Erinaceidae and Leporidae, respectively. Cameras photographed 11 tigers and 13 leopards. Relative abundance index (RAI) of tigers (0.84) was higher than that of leopards (0.48). RAIs of ungulates, from high to low, were sika deer (*Cervus nippon*) (2.18), Siberian roe deer (*Capreolus pygargus*) (1.53) and wild boar (*Sus scrofa*) (0.92). RAI of human activities (40.64) and livestock grazing (2.76) were both significantly higher than animal species. The data also indicated that tigers and sika deer were mainly restricted to the core zone of HNNR and that their abundance was lower in the community-based natural resource management

收稿日期: 2014-08-30; 接受日期: 2014-11-12

基金项目: 国家自然科学基金(31270567, 31200410)和科技部基础性工作专项(2012FY112000)

[#] 同等贡献作者 Authors contributed equally to this work.

^{*} 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: wangtianming@bnu.edu.cn

zone. In comparison, RAIs of Amur leopard were fairly similar among the three functional zones, Siberian roe deer tended to be more abundant in the northern section of HNNR but differences were not significant, and wild boar RAI was lower in the core zone. Frequent disturbance from human activities and livestock grazing throughout the core zone may be the most negative impact on wildlife in HNNR.

Key words: camera traps, *Panthera tigris altaica*, *Panthera pardus orientalis*, relative abundance, spatial distribution, human disturbance

由于受栖息地丧失、退化以及猎物减少、盗猎等影响,当前虎(*Panthera tigris*)、豹(*P. pardus*)、黑熊(*Ursus thibetanus*)等大型食肉动物种群急剧减少,正成为一个全球性的问题(Weber & Rabinowitz, 1996; Ripple *et al.*, 2014),中国也不例外。在5科31种大型食肉动物中,有61%被世界自然保护联盟(IUCN)列为易危、濒危或极危,面临区域或全球灭绝的风险(Ripple *et al.*, 2014)。尽管如此,这些物种中的一大半并没有被充分研究,包括虎和豹。中国东北温带针阔混交林生态系统分布有7种大型食肉动物,是全球大型食肉动物的分布中心之一(Ripple *et al.*, 2014),而且该区域历史上也是东北虎(*Panthera tigris altaica*)和东北豹(*P. pardus orientalis*)的核心分布区(李钟汶等, 2009; 田瑜等, 2009)。这些物种已经在许多分布区域灭绝(赫俊峰等, 1997; Kang *et al.*, 2010)。而随着近十几年中国天然林保护工程的实施,许多濒危物种在该区域正得到逐步恢复(肖文宏, 2014)。

在制定与实施保护和管理食肉动物及它们的猎物和生境的决策时,种群数量估计和分布的调查是第一步,特别是其多度,是评价物种保护状态的重要指标之一(Blanc *et al.*, 2013)。野生动物的多度可以反映一个地区物种的多少,是生态学和保护生物学研究和监测的重要内容。多度估计一般分为绝对多度和相对多度两种,绝对多度的估计结果更为可靠,但是在实践中,由于环境、经费、时间等客观条件的限制,很难获得。因此,相对多度成为一种切实有效的多度估计方法。

为了评价野生动物种群的现状和趋势,非损伤性调查方法在过去十几年已被广泛使用。红外相机技术(camera-trapping methods)因具有准确鉴定个体、非损伤性取样、干扰小、全时工作和高度可比性等优势,其快速发展为大型野生动物种群生态学的研究提供了契机。该技术的研究范围涉及到探测物种的存在、个体识别、种群参数、繁殖、行为格

局与特征、活动节律、觅食生态学等领域,目前已成为监测和保护野生动物的一种新工具(O'Connell *et al.*, 2011; McCallum, 2013),特别是对于大型猫科动物(如虎和豹)而言,由于它们的活动空间大,夜行性,且一般密度较低,极不易被直接观察到,采用传统的研究方法取样难度较大。

大型猫科动物不同个体具有独特的斑纹,可以识别个体进而估计数量和密度(Karanth, 1995; Karanth *et al.*, 2006)。而其他大部分动物则不具有天然个体标识,不能通过此方法估计其种群多度,通常采用相对多度作为替代。多度指数是用来估计物种相对多度的有效方法,通常是以动物的痕迹(如脚印、粪便、叫声)、红外相机捕获、猎人记录和交通伤亡等数据为基础来估计的(Guthlin *et al.*, 2014)。相对多度指数(relative abundance indices, RAI)通过衡量每个物种单位时间内独立事件的数量来表征物种的多度(Datta *et al.*, 2008; Negroes *et al.*, 2011; Ohashi *et al.*, 2013)。

吉林珲春国家级自然保护区目前是东北虎与东北豹在中国的重要栖息地,是俄罗斯种群向中国扩散的重要廊道(Hebblewhite *et al.*, 2012),同时该地区还分布有黑熊和原麝(*Moschus moschiferus*)等其他珍稀物种,但是关于这里的哺乳动物多度和分布的相关研究较少,特别是专门针对虎、豹及其猎物的研究。另外,该保护区核心区与俄罗斯豹地国家公园(Land of the Leopard National Park)直接相连,动物多样性丰富(韩晓东等, 2003),而其中的社区共管区直接与主要公路相邻且分布有许多村屯,频繁的人类活动已加剧了人与野生动物的冲突(Soh *et al.*, 2014)。本研究拟在了解该地区哺乳动物组成的基础上,评价重点保护动物虎、豹及其猎物的多度和空间分布,确定其优先保护区域,探讨人类干扰的范围和频繁程度与野生动物的关系,为保护区内濒危物种的保护和管理提供科学依据,也为目标物种(东北虎、东北豹)捕获—重捕和占域分析提供基

础数据。

1 研究地点

珲春国家级自然保护区位于吉林省延边朝鲜族自治州珲春市东南部,东与俄罗斯滨海边疆区豹地国家公园接壤,西南隔图们江与朝鲜庆兴、雄基郡相望,北与黑龙江老爷岭自然保护区相连。全区面积1,087 km²,其中,核心区505.36 km²(占保护区面积的46.5%);缓冲区405.71 km²(占37.3%);实验区175.93 km²(占16.2%)。另外,根据东北虎、东北豹活动范围较大的特点,并结合当地实际情况,在保护区外围设立了417.78 km²的外围保护带作为社区共管区(李冰, 2010)。

珲春保护区属近海中温带海洋性季风气候区。由于邻近日本海并受海洋性气候的影响,与同纬度的地区相比冬暖夏凉,降水较多。森林为该区域的主要植被类型,以阔叶林为主,北部有少量针叶林和针阔混交林。保护区南部还存在大片湿地,是鸟类重要的途经地和栖息地。该区域植物种类达537种,其中种子植物种类以松科、桦木科、杨柳科、菊科、蔷薇科、莎草科、禾本科的居多(韩晓东等, 2003)。

保护区野生动物资源丰富,其中水生脊椎动物35种,陆生脊椎动物281种(两栖类12种,爬行类12种,鸟类208种,哺乳类49种)(韩晓东等, 2003)。东北虎、东北豹、梅花鹿(*Cervus nippon*)等9种动物被列为国家I级重点保护野生动物。

保护区内有29个自然村屯,平均人口密度达12人/km²。总人口为14,953人,缓冲区内人口4,912人,实验区人口10,041人,主要分布在实验区的珲春河下游和敬信盆地(韩晓东等, 2003)。

2 方法

2.1 红外相机布设和数据采集

综合考虑东北虎、东北豹及其主要猎物梅花鹿、狍(*Capreolus pygargus*)和野猪(*Sus scrofa*)的家域大小,将珲春保护区按照3.6 km×3.6 km划分成单元网格,若网格内的森林覆盖率达到90%以上,就设置一台红外相机,结合当地地形地势和植被特征,相机放置在该网格中虎、豹或有蹄类动物经常出现的地方,如兽道、山脊上。2013年4–6月,我们在保护区内共设置了83个相机位点,其中核心区40

个,缓冲区20个,共管区23个。由于实验区大部分为农田和湿地覆盖,其中残存的少量森林呈现破碎化状态且面积较小,因而未设置红外相机(图1)。相机安装在乔木树干离地面0.4–0.8 m处,保证以最佳的角度和视野拍摄动物,相机处不放置任何诱饵。

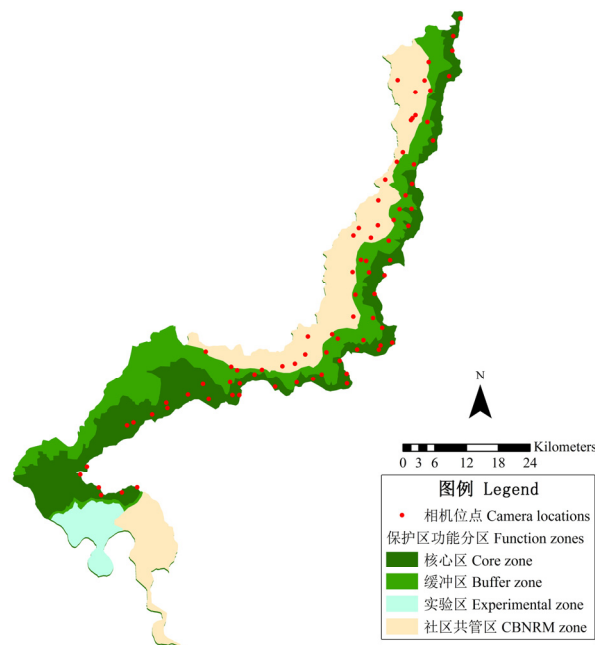


图1 珲春保护区功能分区及相机位点分布图

Fig. 1 Functional zones of Hunchun National Nature Reserve and camera-trapping locations

本研究使用的相机(Ltl-6210M)参数设置为拍摄视频,长度为15 s,拍摄间隔为1 min,全天24 h工作,敏感度为低。由于研究区域交通不便,每隔一个月左右更换一次电池和数据存储卡。

2.2 数据处理与统计分析

首先将视频初步整理,删除空拍的(主要是没有任何动物的)视频,鉴定有效视频中出现的野生动物物种、人类活动(包括人和车辆)、放牧(包括牛、羊、马)信息。然后判断独立事件,标准为:(1)相同或不同物种的不同个体或车辆的连续视频;(2)相同物种或车辆的连续视频之间时间间隔大于30 min;(3)相同物种或车辆的不连续视频(O'Brien *et al.*, 2003)。符合以上任意一条标准即被定义为一次独立事件。将以上数据导入到Microsoft Access数据库,该数据库记录了每个视频拍摄的日期、时间、物种组成及相机位点等信息。

将每个物种独立视频事件的数量作为衡量物

种多度的指标, 计算相对多度指数(RAI), 即每100 d捕获的独立视频数(O'Brien *et al.*, 2003)。首先计算研究区域内捕获到的各种哺乳动物及人类活动的RAI值, 并运用ArcGIS 9.3绘制3种有蹄类猎物梅花鹿、狗、野猪以及人类干扰(人类活动、放牧)的RAI空间分布图。然后通过Mann-Whitney U非参数检验来分析虎、豹及其猎物和人类干扰的平均RAI在保护区不同功能分区(核心区、缓冲区和社区共管区)之间是否存在显著性差异。

3 结果

3.1 相机捕获结果统计

2013年4–6月, 研究区域内83个位点的红外相机总捕获天数共计6,060 d, 拍摄的独立事件数为3,413次, 其中野生哺乳动物783次, 占总捕获事件的23%, 人类活动2,463次, 放牧167次, 二者占总捕获事件的比例高达77%。共记录野生哺乳动物18种, 分属于5目10科(附表1)。其中国家I级重点保护野生动物有东北虎、东北豹、梅花鹿和原麝4种; II级重点保护野生动物有黑熊、黄喉貂(*Martes flavigula*)和水獭(*Lutra lutra*)3种; IUCN红色名录极危(CR)物

种1种(东北豹), 濒危(EN)物种1种(东北虎), 易危(VU)物种2种(黑熊和原麝), 近危(NT)物种1种(水獭); CITES(濒危野生动植物种国际贸易公约)附录I物种4种(东北虎、东北豹、黑熊和水獭), 附录II物种2种(豹猫(*Prionailurus bengalensis*)和原麝)。另外, 根据虎、豹个体身上的独特斑纹判断, 我们共拍摄到11只东北虎和13只东北豹。

3.2 相对多度指数

珲春保护区内出现的物种、人类活动及放牧的RAI值见附表1。其中, 人类活动RAI值最高(40.64), 其次为放牧(2.76)。两种顶级食肉的大型猫科动物中, 东北虎的RAI(0.84)高于东北豹(0.48); 其余4种主要的有蹄类猎物中, 梅花鹿(2.18)、狗(1.53)、野猪(0.92)和原麝(0.07)的RAI值则依次减小, 特别是原麝, 其多度水平不及梅花鹿的1/30。其他小型哺乳动物中, 狗獾(*Meles leucurus*) (2.61)、东北兔(*Lepus mandshuricus*) (1.55)、赤狐(*Vulpes vulpes*) (0.96)和花鼠(*Tamias sibiricus*) (0.94)的多度水平较高。

3.3 相对多度指数的空间分布

从有蹄类动物RAI的空间分布图(图2)可看出, 梅花鹿在保护区中部靠近边境线的地方多度水平

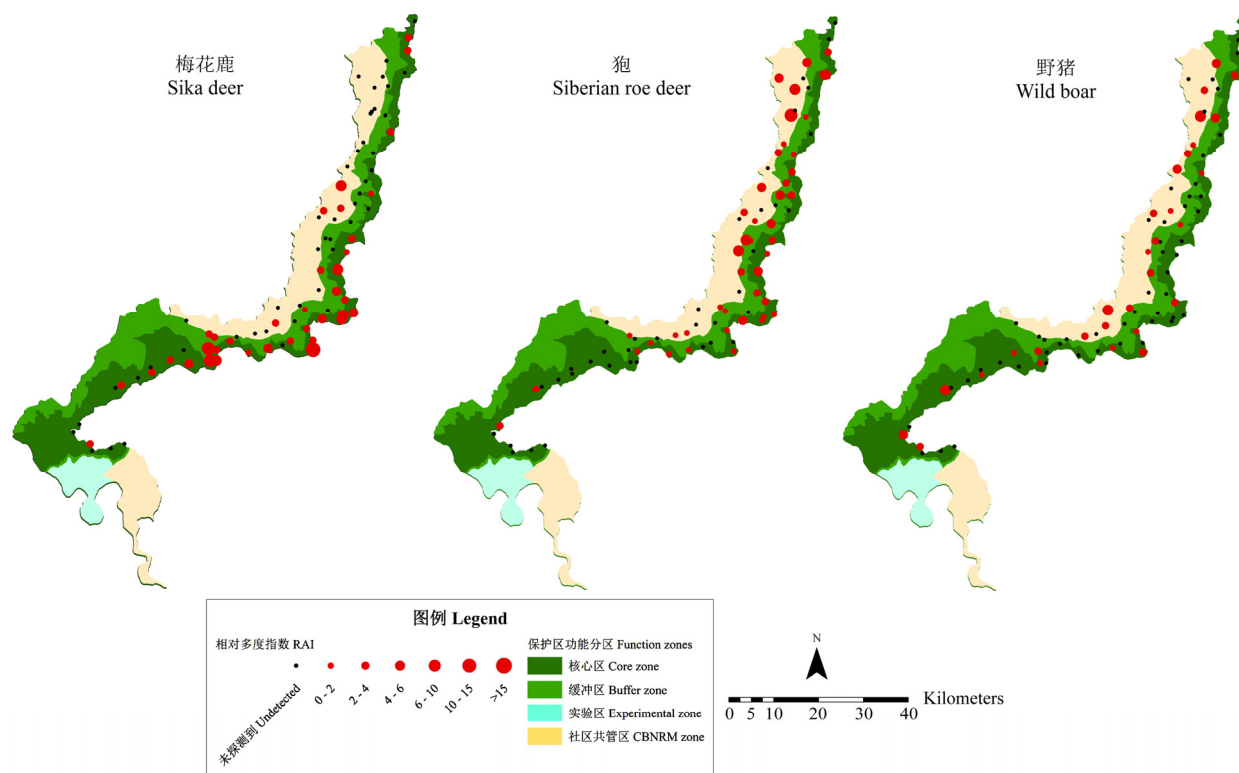


图2 珲春保护区虎、豹猎物的相对多度的空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of relative abundance index (RAI) of the prey of tiger and leopard in Hunchun National Nature Reserve

较高, 相机捕获率为45%(83个位点中有37个记录到); 狗的多度在保护区北部的青龙台和春化地区较高, 相机捕获率为54%; 野猪在保护区各区域均有分布, 相机捕获率为37%; 原麝在83个位点中只有2个点记录到, 数据没有显示。人类活动几乎遍及核心区在内的整个保护区(只有一个点未探测到), 且在保护区中部活动水平较高, 放牧则主要集中在春化和马滴达区域, 相机捕获率为17%(图3)。

在保护区的社区共管区、缓冲区、核心区3个功能区中, 东北虎和人类活动在核心区的多度水平显著高于社区共管区($P<0.05$), 而这两个功能区与缓冲区之间差异均不显著; 与之相反的是, 野猪在社区共管区的多度水平显著高于核心区($P<0.05$), 这两个功能区与缓冲区之间差异均不显著; 梅花鹿在核心区的多度水平显著高于其他两个功能区($P<0.05$), 但缓冲区与社区共管区之间差异不显著; 东北豹、狗和放牧在3个功能区之间差异均不显著(图4)。

4 讨论

相对多度指数作为红外相机监测中广泛应用的多度指标, 通常随密度的增加而增大。在保护区监测到的4种野生有蹄类动物中, 梅花鹿的多度最高, 原麝则最为稀少。这一结果与李冰(2010)在2007年和2008年关于有蹄类动物新鲜足迹链的遇见率的研究, 以及陈九屹等(2011)2009–2010年冬季的样线调查结果并不一致, 他们的研究中狗的相对多度最高。导致这一差异的可能原因一是样线设置具异质性, 二是梅花鹿种群集中分布在中俄边界线等特点导致样线调查的记录率偏低。另外, 前两次研究都记录到了马鹿(*Cervus elaphus*), 而本研究未发现珲春保护区内有马鹿的分布, 究其原因可能是由于人们在雪地调查时产生的误差所致: 因为鹿科动物的足迹比较难区分, 特别是在野外条件下, 成年雄性梅花鹿与雌性或亚成体马鹿的脚印容易混淆, 不清晰的亚成体梅花鹿足迹又容易被误判为狗足迹。

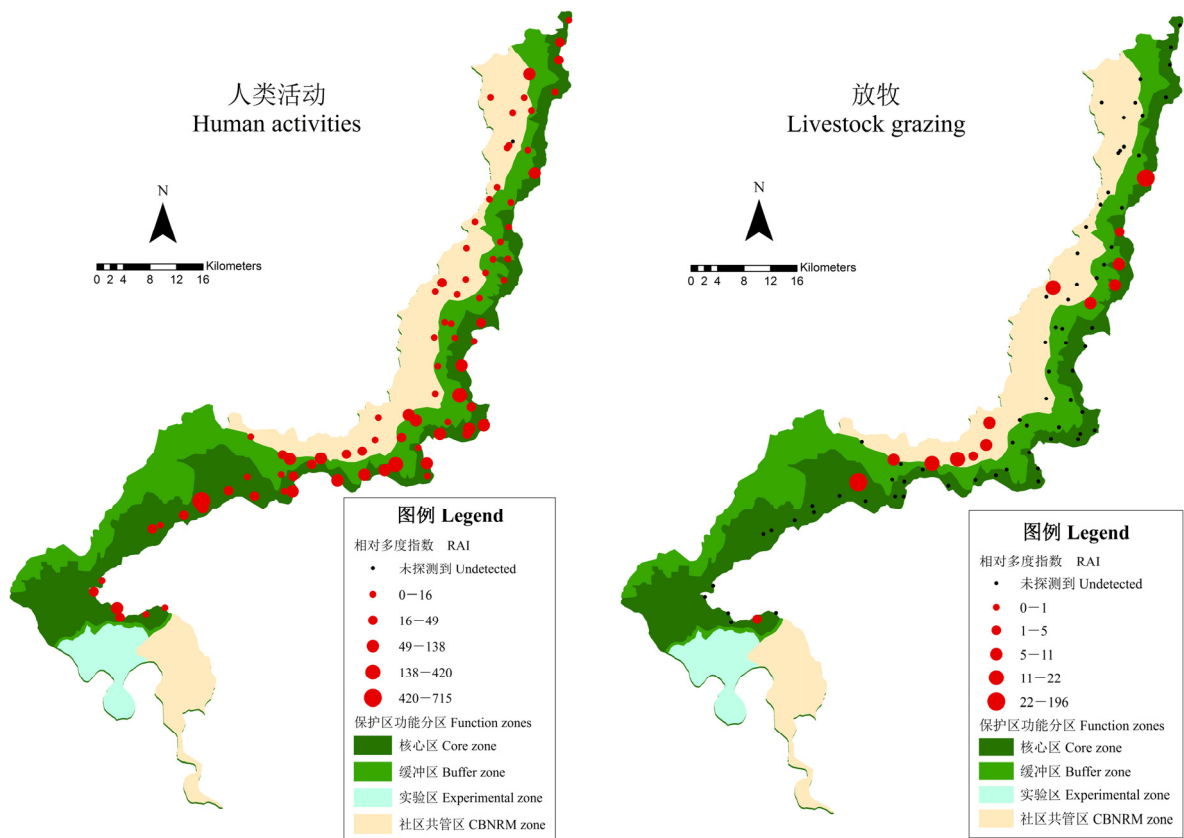


图3 珲春保护区人类干扰相对多度的空间分布
Fig. 3 The spatial distribution of relative abundance index (RAI) of human disturbance in Hunchun National Nature Reserve

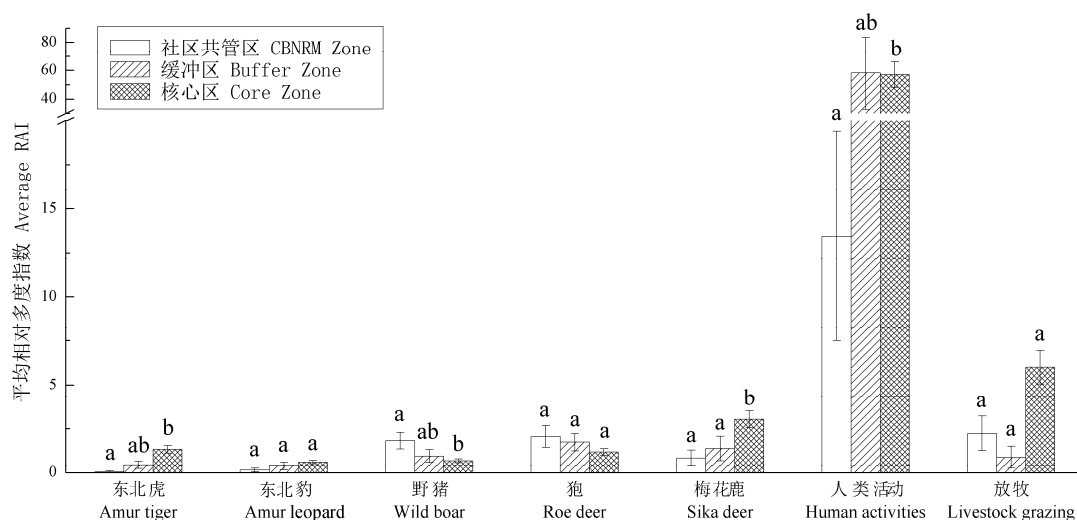


图4 珲春保护区不同功能分区下虎、豹、猎物 and 人类干扰的相对多度。不同字母表示显著性水平为0.05时差异显著。

Fig. 4 The relative abundance index (RAI) of Amur tiger, Amur leopard, their prey and human disturbance in different functional zones of Hunchun National Nature Reserve. Different letters above bars show differences among functional zones when $P = 0.05$.

我们在调查中还记录到了原麝，这在以前的研究中没有记录到，原因可能是该物种数量稀少，以往短时间的足迹调查很难观测到。上述分析说明，在野生动物种群研究中红外相机比传统的样线调查更有效，不仅动物判别的准确性大大提高(Lyra-Jorge *et al.*, 2008)，而且凸显出对珍稀濒危物种监测的优势(Surridge *et al.*, 1999)。

在珲春保护区有蹄类猎物RAI呈现出不同的空间分布特征。其中，梅花鹿主要集中分布在保护区中部的核心区，野猪和狍在核心区的多度水平反而较低，而是在社区共管区和缓冲区的多度水平较高，这可能是同域有蹄类动物之间的竞争导致了它们在空间生态位上分化的结果(Makovkin, 1999)。狍很少使用梅花鹿活动和觅食的低山和丘陵区，当梅花鹿占据狍的生境时，狍便退到很少被梅花鹿利用的中山阔叶林区或采伐区(Aramilev, 2009)。梅花鹿作为多度占优势的有蹄类猎物，与其捕食者东北虎和东北豹在空间上分布较为一致，RAI值都是自核心区、缓冲区、社区共管区依次减小，这可能与俄罗斯源种群的距离、生境利用以及捕食者-猎物之间的关系有关，今后需要加强虎、豹与其有蹄类猎物之间种间关系、生境利用和食性等方面的深入研究。

本研究还发现多度水平最高的是人类活动和放牧，其中人类活动的RAI值是有蹄类动物的20倍

左右，几乎遍布在整个保护区，人类活动的主要形式是当地村民进山收集林产品和饲养林蛙(*Rana temporaria*)；放牧活动(主要为放牛)的分布则较为集中。另外，核心区的人类活动显著高于社区共管区，原因之一是，研究期间(4–6月)正值当地村民进山收集林产品和养林蛙的高峰期，人类频繁出入野生资源丰富的核心区；原因之二是，相机布设是以动物常出现的地方为原则的，在社区共管区内动物和人类活动重叠区域小，而在核心区的重叠度大，故捕获的人类活动次数多。

值得注意的是，核心区同样也是东北虎和梅花鹿的主要分布区，而频繁的人类活动和放牧干扰通常对动物的活动和分布造成不利影响(Harihar *et al.*, 2009a, b; Karanth *et al.*, 2011)，特别是在春季有蹄类动物繁殖的季节。过多的人类干扰活动可能会威胁到有蹄类动物的种群数量进而可能影响虎、豹种群。在今后的研究中应深入评估人类干扰在不同季节对虎豹及其猎物的影响，同时应注意加强保护区的管理，禁止当地居民进入保护区从事生产活动，减少人类对野生动物及其栖息地的干扰。

致谢：野外调查工作得到了中国人民解放军某边防部队、吉林省林业厅、珲春国家级自然保护区管理局和珲春市林业局大力支持。同时感谢周博、武红

艳、牟琦在野外工作和数据处理方面的帮助。

参考文献

- Aramilev VV (2009) Sika deer in Russia. In: *Sika Deer: Biology and Management of Native and Introduced Populations* (eds McCullough DR, Takatsuki S, Kaji K), pp. 475–499. Springer, Tokyo.
- Blanc L, Marboutin E, Gatti S, Gimenez O (2013) Abundance of rare and elusive species: empirical investigation of closed versus spatially explicit capture-recapture models with lynx as a case study. *Journal of Wildlife Management*, **77**, 372–378.
- Chen JY (陈九屹), Nasen D (那顺得力格尔), Sun QH (孙全辉), Zhang LJ (张迺嘉), Tang JR (唐继荣), Lang JM (郎建民), Liu T (刘通), Liu KP (刘昆鹏), Xiao WH (肖文宏), Bao WD (鲍伟东) (2011) Amur tiger and prey in Jilin Hunchun National Nature Reserve, China. *Chinese Journal of Zoology* (动物学杂志), **46**(2), 46–52. (in Chinese with English abstract)
- Datta A, Anand MO, Naniwadekar R (2008) Empty forests: large carnivore and prey abundance in Namdapha National Park, north-east India. *Biological Conservation*, **141**, 1429–1435.
- Guthlin D, Storch I, Kuchenhoff H (2014) Toward reliable estimates of abundance: comparing index methods to assess the abundance of a mammalian predator. *PLoS ONE*, **9**, e94537. DOI: 10.1371/journal.pone.0094537
- Han XD (韩晓东), Tong SZ (佟守正), Zhen JH (甄江河), Li ZH (李志宏) (2003) *Scientific Survey Report of Hunchun Nature Reserve, Jilin* (吉林珲春东北虎自然保护区综合科学考察报告). Jilin Forestry Survey and Design Institute, Changchun. (in Chinese)
- Harihar A, Pandav B, Goyal SP (2009a) Responses of tiger (*Panthera tigris*) and their prey to removal of anthropogenic influences in Rajaji National Park, India. *European Journal of Wildlife Research*, **55**, 97–105.
- Harihar A, Prasad DL, Ri C, Pandav B, Goyal SP (2009b) Losing ground: tigers *Panthera tigris* in the north-western Shivalik landscape of India. *Oryx*, **43**, 35.
- Hebblewhite M, Zimmermann F, Li Z, Miquelle DG, 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**, 579–592.
- He JF (赫俊峰), Yu XC (于孝臣), Shi YM (史玉明) (1997) Historical distribution changes and population dynamics of the Amur tiger. *Forestry Science and Technology* (林业科技), **22**(1), 28–30. (in Chinese)
- Karanth KU (1995) Estimating tiger *Panthera tigris* populations from camera-trap data using capture-recapture models. *Biological Conservation*, **71**, 333–338.
- Karanth KU, Gopalaswamy AM, Kumar NS, Vaidyanathan S, Nichols JD, MacKenzie DI (2011) Monitoring carnivore populations at the landscape scale: occupancy modelling of tigers from sign surveys. *Journal of Applied Ecology*, **48**, 1048–1056.
- Karanth KU, Nichols JD, Kumar NS, Hines JE (2006) Assessing tiger population dynamics using photographic capture-recapture sampling. *Ecology*, **87**, 2925–2937.
- Kang AL, Xie Y, Tang JR, Sanderson EW, Ginsberg JR, Zhang ED (2010) Historic distribution and recent loss of tigers in China. *Integrative Zoology*, **5**, 335–341.
- Li B (李冰) (2010) *Status of Amur Tiger and Prey Population in Hunchun Nature Reserve, China and Conservation Research* (珲春自然保护区东北虎及猎物种群现状及保护研究). PhD dissertation, East China Normal University, Shanghai. (in Chinese with English abstract)
- Li ZW (李钟汶), Wu JG (邬建国), Kou XJ (寇晓军), Tian Y (田瑜), Wang TM (王天明), Mou P (牟溥), Ge JP (葛剑平) (2009) Land use pattern and its dynamic changes in Amur tiger distribution region. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **20**, 713–724. (in Chinese with English abstract)
- Lyra-Jorge MC, Ciocheti G, Pivello VR, Meirelles ST (2008) Comparing methods for sampling large- and medium-sized mammals: camera traps and track plots. *European Journal of Wildlife Research*, **54**, 739–744.
- Makovkin LI (1999) *Wild Sika Deer in the Lazovsky Zapovednik and Surrounding Areas*. Almanac “Russkiy Ostrov.”, Dalpress, Vladivostok. (in Russian)
- McCallum J (2013) Changing use of camera traps in mammalian field research: habitats, taxa and study types. *Mammal Review*, **43**, 196–206.
- Negroes N, Revilla E, Fonseca C, Soares A, Jacomo ATA, Silveira L (2011) Private forest reserves can aid in preserving the community of medium and large-sized vertebrates in the Amazon arc of deforestation. *Biodiversity and Conservation*, **20**, 505–518.
- O'Brien TG, Kinnaird MF, Wibisono HT (2003) Crouching tigers, hidden prey: sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape. *Animal Conservation*, **6**, 131–139.
- O'Connell AF, Nichols JD, Karanth KU (2011) *Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses*. Springer, Tokyo.
- Ohashi H, Saito M, Horie R, Tsunoda H, Noba H, Ishii H, Kuwabara T, Hiroshige Y, Koike S, Hoshino Y, Toda H, Kaji K (2013) Differences in the activity pattern of the wild boar *Sus scrofa* related to human disturbance. *European Journal of Wildlife Research*, **59**, 167–177.
- Ripple WJ, Estes JA, Beschta RL, Wilmer CC, Ritchie EG, Hebblewhite M, Berger J, Elmhagen B, Letnic M, Nelson MP, Schmitz OJ, Smith DW, Wallach AD, Wirsing AJ (2014) Status and ecological effects of the world's largest carnivores. *Science*, **343**, 1241484.
- Soh YH, Carrasco LR, Miquelle DG, Jiang JS, Yang J, Stokes EJ, Tang JR, Kang AL, Liu PQ, Rao M (2014) Spatial correlates of livestock depredation by Amur tigers in Hunchun, China: relevance of prey density and implications for protected area management. *Biological Conservation*,

- 169, 117–127.
- Surridge AK, Timmins RJ, Hewitt GM, Bell DJ (1999) Striped rabbits in Southeast Asia. *Nature*, **400**, 726–726.
- Tian Y (田瑜), Wu JG (邬建国), Kou XJ (寇晓军), Li ZW (李钟汶), Wang TM (王天明), Mou P (牟溥), Ge JP (葛剑平) (2009) Spatiotemporal pattern and major causes of the Amur tiger population dynamics. *Biodiversity Science* (生物多样性), **17**, 211–225. (in Chinese with English abstract)
- Weber W, Rabinowitz A (1996) A global perspective on large carnivore conservation. *Conservation Biology*, **10**, 1046–1054.
- Xiao WH (肖文宏) (2014) *Amur Tiger (Panthera tigris altaica) and Its Prey in Hunchun Nature Reserve, Jilin, China: Their Population Size, Distribution and Occupancy* (东北虎与猎物的种群分布、数量和占据研究). PhD dissertation, Beijing Normal University, Beijing. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 蒋学龙 责任编辑: 周玉荣)

附录 Supplementary Material

附表1 红外相机捕获的物种和人类活动的独立事件数、相对多度指数以及捕获的相机位点数

Table S1 List of species and human disturbances recorded by camera traps, showing the conservation status of each species, the number of independent events, relative abundance index (RAI) and the number of trap sites where the species was captured in Hunchun National Nature Reserve

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-184-1.pdf>