

DOI: 10.20103/j.stxb.202212033489

杨波,周绍春,张明海,陈红,王启蕃.完达山东部欧亚水獭种群数量及出现频次影响因素.生态学报,2023,43(20):8655-8662.

Yang B, Zhou S C, Zhang M H, Chen H, Wang Q F. Factors influencing the population number and occurrence frequency of Eurasian otter in the eastern Wanda Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(20): 8655-8662.

完达山东部欧亚水獭种群数量及出现频次影响因素

杨 波¹, 周绍春^{2,*}, 张明海¹, 陈 红², 王启蕃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 黑龙江省野生动物研究所, 哈尔滨 150081

摘要:水獭作为淡水生态系统健康的指示种和旗舰物种,在维持水生生态系统平衡与稳定中发挥着重要作用。然而目前对于完达山东部地区水獭种群数量、分布及其生境选择的影响因素的研究较为匮乏,严重影响了对该物种的野外保护与管理工作。于 2021 年 12 月至 2022 年 4 月冬季河流封冻期,采用沿河随机样线调查和红外相机监测相结合的方法对完达山东部地区 8 条主河和 23 条支流内的欧亚水獭(*Lutra lutra*)种群数量、分布现状进行了调查,并利用广义可加模型探究水獭出现频次与环境因子的关系。研究结果表明:(1)欧亚水獭在完达山东部水獭种群数量为 571—661 只,水獭种群密度为沿河(0.5559±0.2898)只/km,呈现中间高,四周低的趋势;(2)环境因子对水獭出现频次影响分析表明,河流深度、距农田距离、距居民区距离和距道路距离是影响水獭出现频次的因素。水獭出现频次与河流深度(0—40 cm)呈线性正相关,当河流深度达到 40—50 cm 时,水獭出现频次最高,之后随着河流深度的增加,出现频次降低;水獭出现频次与距农田距离(0—1.5 km)呈非线性正相关,在距农田距离为 1.5—2 km 范围内,水獭出现频次最高,之后降低;水獭出现频次与距居民区距离呈线性正相关;水獭出现频次与距道路距离呈非线性关系,当距离>7 km 时,二者之间呈现为正相关,反之呈现为负相关。因此,水獭选择栖息地偏向于河流深(40—50 cm),远离农田(1.5—2 km)、居民区和道路(>7 km)的水域。研究为完达山东部欧亚水獭物种保护提供了基础数据和理论依据,建议通过河岸土地覆盖类型的管理、在河岸周围建立森林缓冲区及加强水獭保护宣传力度等措施实现对水獭物种及其栖息地的维持和保护。

关键词:欧亚水獭;完达山东部;样线法;红外相机监测;广义可加模型(GAM)

Factors influencing the population number and occurrence frequency of Eurasian otter in the eastern Wanda Mountains

YANG Bo¹, ZHOU Shaochun^{2,*}, ZHANG Minghai¹, CHEN Hong², WANG Qifan¹

¹ College of Wildlife Resource, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

² Wildlife Research Institute of Heilongjiang Province, Harbin 150081, China

Abstract: As an indicator and flagship species of freshwater ecosystem health, otters play an important role in maintaining the balance and stability of aquatic ecosystems. However, there is little research about the otter population in the eastern Wanda Mountains such as their distribution, size and the environmental factors affecting their habitat selection, which hurts the protection and the management of the otter species. Here, we aim to study the distribution and size of the Eurasian otter (*Lutra lutra*) population in 8 main rivers and 23 tributaries in the eastern Wanda Mountain. During the freezing period of rivers in winter from December 2021 to April 2022, the otter population were firstly investigated using a combination of random transect surveys along the river and infrared camera monitoring. Then, the generalized additive model (GAMs) was used to explore the relationship between Eurasian otter occurrence frequency and the environmental factors. The results

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(CZKYF2021B002)

收稿日期:2022-12-03; 采用日期:2023-07-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Zhoushaochun2003@163.com

showed that: (1) the Eurasian otter was widely distributed in the eastern part of Wanda Mountain. The population ranged from 571 to 661 individuals. The population density was 0.5559 ± 0.2898 per kilometer along the river showing a trend of bigger otter populations in the middle and smaller populations in the surrounding area. (2) The key factors affected the occurrence frequency of otters include the depth of the river, the distance from farmland, the distance from residential areas and the distance from roads. The occurrence frequency of Eurasian otters were linearly positively correlated with river depth (0—40 cm). When the river depth reached 40—50 cm, the occurrence frequency of otters was the highest and then decreased with the increase of river depth. The occurrence of otters was positively correlated with the distance from farmland (0—1.5 km). The occurrence frequency was the highest within the range of 1.5—2 km from farmland and then decreased with the increase of the distance from farmland. The occurrence frequency of Eurasian otters was linearly positively correlated with the distance from residential areas. There is a nonlinear relationship between the occurrence frequency of otters and the distance from the road. When the distance is over 7 km, it shows a positive correlation between occurrence frequency and the distance from the road and vice versa. In conclusion, otters choose habitats that tend to be deep in rivers (40—50 cm), away from farmland (1.5—2 km), residential areas and roads (> 7 km). Our study provides primary data and a theoretical basis for Eurasian otter species protection in the eastern part of Wanda Mountain. We suggested improving the management of river bank land cover types, establishing forest buffer zones around the river bank, and promoting of otter protection for the habitat maintenance and the protection of otter species.

Key Words: Eurasian otter; eastern Wanda Mountains; line transect method; infrared camera monitoring; generalized additive model

水獭属于食肉目(Carnivora)、鼬科(Mustelidae)、水獭亚科(Lutrinae),是淡水生态系统中的顶级捕食者,也是健康淡水生态系统的指示物种。由于水污染、栖息地丧失和食物资源匮乏等问题导致水獭种群数量不断下降,1989年被列为国家Ⅱ级重点保护动物^[1]。中国分布的水獭有3种,分别为欧亚水獭(*Lutra lutra*)、小爪水獭(*Aonyx cinereus*)和江獭(*Lutrogale perspicillata*)^[2]。近年研究发现,中国的欧亚水獭分布区由东南部和中部的大部分地区逐渐退缩,目前主要分布在西南地区 and 东北地区,完达山东部是欧亚水獭在东北的主要分布区之一^[3-4]。目前,对于完达山东部欧亚水獭的种群数量及分布现状研究较为匮乏。因此,调查完达山东部欧亚水獭的种群数量、分布及环境影响因素,了解欧亚水獭分布区退缩原因,对于完达山东部水獭野外保护工作具有重要意义。

野生动物种群数量和分布的调查与监测方法需要根据不同物种栖息的生境和生态习性差异做出调整。目前,开展野生动物种群数量、分布和栖息地研究的方法主要有样线调查法、相机监测法、无人机调查、标记重捕法、信息网络和粪便DNA分析等^[5-6]。水獭是典型的水生哺乳动物,多在夜间和晨昏活动,行动迅速且机敏,野外调查难度较大^[7]。传统的水獭数量调查方法主要有信息网络法和标记重捕法,但是当水獭分布现状不明确时,使用信息网络法需设置大量监测站和监测人员进行监测,调查成本巨大^[8];标记重捕法操作难度大,且容易对水獭造成伤害。东北地区冬季降雪量多,气候寒冷,在河流封冻期加之雪被覆盖,能够有效收集水獭的足迹信息,从而统计水獭的种群数量与密度,并分析环境因子对其分布的影响。在冬季河流冰封期采用随机样线法调查水獭种群数量操作相对简单、调查成本较小且调查精度高。在野外调查过程中通过人为追踪一定区域内沿河水獭雪地活动痕迹,包括足迹链、粪便、换气洞口,明确水獭出现点,使用出现点的分布和比例研究其相对数量和种群分布^[9]。此外,结合痕迹调查结果,在水獭活动的流域布设红外相机,能够有效提高调查监测的有效性和准确性,作为对随机样线调查结果的验证与补充。

因此,本研究采用随机样线调查与红外相机监测相结合的方法对完达山东部地区水獭种群数量进行研究,并利用野外收集的活动点数据,使用广义可加模型分析影响水獭分布的环境因子,以为水獭野外种群保护提供基础数据,进而为东北地区的水獭监测等相关研究提供经验,为保护区对该物种的保护管理、景区环境

教育等提供科学依据。

1 研究地区概况

研究地区位于黑龙江省完达山东部乌苏里江流域,地理坐标为东经 132.92°—134.01°,北纬 46.11°—46.99°,总面积 4784.67 km²。研究区域内的景观有森林、农田、居民区、河流、草地和湿地等,气候属典型寒温带气候,冬季严寒漫长,年平均气温为 2.5—3.0 ℃,积雪厚度为 30—50 cm,最低气温达-34.8 ℃,河流一般在 10 月份结冻至翌年 4 月下旬解冻。该地区植被以阔叶林为主,针叶林和针阔混交林分布较少,在东南部分布有大面积的湿地和少量草地。树种主要有红松(*Pinus koraiensis*)、云杉(*Picea polita*)、核桃楸(*Juglans mandshurica*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、杨树(*Populus L.*)、柞树(*Quercus mongolica*)等;分布的野生动物有东北虎(*Panthera tigris altaica*)、野猪(*Sus scrofa*)、马鹿(*Cervus canadensis*)、狍(*Capreolus pygargus*)、猓猓(*Lynx lynx*)、欧亚水獭,以及鸟类东方白鹳(*Ciconia boyciana*)、丹顶鹤(*Grus japonensis*)、白枕鹤(*Grus vipio*)等。

完达山东部水资源丰富,分布有 31 条支流,大型支流 8 条,小支流 23 条,其中阿布沁河和独木河最终汇入乌苏里江,河流分布如图 1 所示。丰富的水资源环境极大的提高了水生生物多样性,分布鱼类有 80 多种,包括柳根鱼(*Phoxinus lagowskii Dybowski*)、小白鱼(*Leuciscus baicalensis*)、黄桑鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)、鲫鱼(*Carassius auratus*)等,两栖类有东北林蛙(*Rana dybowskii*)和中国林蛙(*Rana chensinensis*)等。

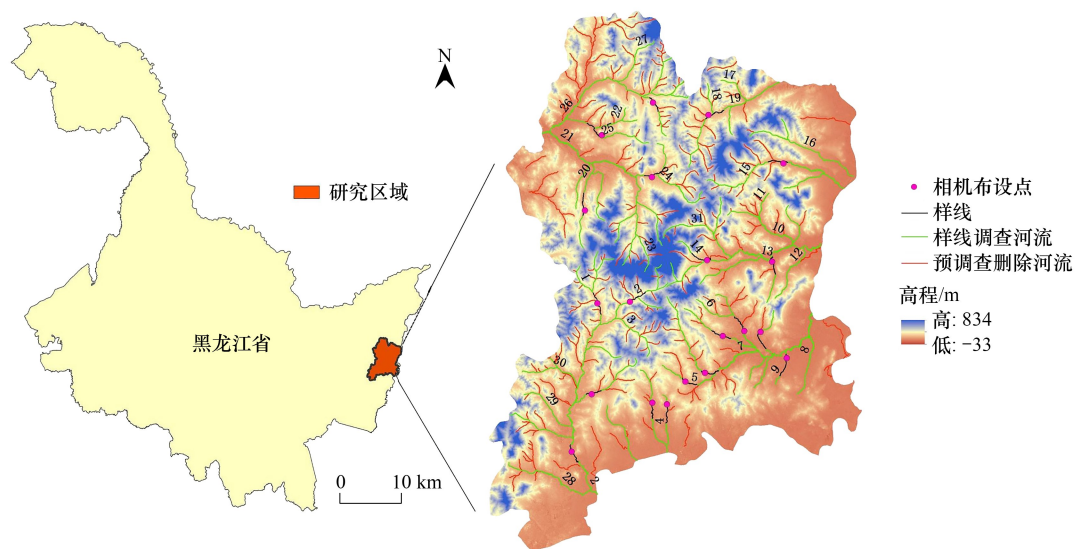


图 1 研究地区地理位置示意图

Fig.1 Map of the geographical location of the study area

1.青山口河;2.阿布沁河;3.炮手营河;4.西南岔河;5.独木河右支二河;6.北独木河;7.独木河;8.大木河;9.独木河右支一河;10.白杨河;11.白水河;12.小七里沁河;13.永兴河;14.外七里沁河;15.大别拉坑河;16.小别拉坑河;17.北小大带河;18.矾脚蹯河;19.大带河;20.大古桥河;21.七里沁河;22.云盘溪;23.仙雀河;24.向阳河;25.二道河;26.大牙克河;27.大叶子沟;28.小青河;29.七公里河;30.海音山河;31.秦琼沟

2 研究方法

2.1 数据来源

2.1.1 样线布置及水獭活动点数据采集

本研究调查开始于 2021 年 12 月,河流全封冻,调查人员沿河进行样线调查,记录水獭新鲜足迹、出水口和入水口,选择水獭活动频繁区域安装红外相机。调查分为 2 个阶段:①预调查,根据东方红湿地国家级自然保护区、迎春林业局有限公司、饶河县林业和草原局野生动物管理人员和当地居民的描述,在正式样线调查开始前对研究地区分布的 8 条主河和 23 条支流(共 1984.45 km)进行为期 5 d 的实地考察。通过观察河流水

深、河道宽度以及是否存在水獭足迹初步筛选正式调查河流。排除没有水獭活动踪迹且水深 < 0.15 m, 河宽 < 0.8 m 的河流后, 筛选出可能存在水獭分布的河流 20 条 (1107.94 km); ②利用林相地形图在筛选保留的 20 条河流上随机布设 20 条长约 6 km 的沿河样线 (图 1)。野外样线调查时间为每天 7:00—15:00, 为期 20 d, 调查过程中, 当在冰面发现新鲜水獭足迹时, 根据足迹脚印大小、步幅大小和是否有足迹链分支确定水獭数量和足迹链条数, 并记录足迹链长度、数量、痕迹类型、采集粪便; 沿足迹链每隔 100 m 定点记录沿河两侧 20 m 范围内的土地覆盖类型、树木种类及树木距河流距离等生境信息。当足迹追踪至水獭进入河里洞口时暂停记录, 同时向前行进 500 m, 再次确认无新足迹则认为该水獭足迹链结束。

2.1.2 红外相机布设

本研究于 2021 年 12 月—2022 年 4 月期间开展野外沿河样线调查, 跟踪水獭足迹链的同时, 在水獭粪便点 (一般在倒木位置)、出水口或入水口处等水獭活动频繁流域共布设 20 台红外相机 (优威 UVL4-CN) 进行监测。相机参数设置为拍摄模式 (拍照+录像), 图片拍摄张数 1 张, 录像时间为 30—60 s, 时间间隔为 1 s, 灵敏度为中。红外相机固定在距地面高 0.6 m 左右的树干上, 同时记录相机位点的环境因子同 2.1.1, 1 h 内同一相机中含同种个体的相邻有效视频记为 1 次独立有效探测^[10]。2022 年 4 月回收相机数据, 将样线调查发现的水獭足迹数与相应相机位点拍到的水獭实体数 (同一视频或照片中出现的最大水獭数) 进行比对验证。

2.1.3 环境变量数据

(1) 地形因子: 海拔数据使用 WGS84 投影, 通过中国科学院资源环境科学数据中心资源环境数据云平台 (<http://www.resdc.cn>) 下载 30 m×30 m 全国数字地形高程模型 (DEM) 数据获得。

(2) 土地覆盖类型: 用研究地区 1:50000 林相图进行扫描和矢量化处理, 并将研究地区土地覆盖类型划分为森林、农田、草地、湿地 4 种类型。

(3) 道路、河流和居民区: 根据林相图矢量化获得, 水獭活动点到各变量 (土地覆盖类型、道路、居民点等) 的距离由 ArcGIS10.3 中近邻分析工具计算获得。河流宽度和河流深度由样线调查测量获得。

2.2 数据分析

2.2.1 水獭种群密度和数量

红外相机监测获得水獭有效探测次数 42 次, 沿河样线调查发现水獭新鲜足迹链 76 条, 利用相机位点附近发现的足迹数与照片中水獭的实体数进行比对分析, 发现其新鲜足迹数与实体数对应关系为 1:1, 因此在计算水獭密度和种群数量时以水獭足迹数替代实体数。水獭密度计算公式参照野生动物野外样线调查方法^[11], 其中种群密度单位根据 Sittenthaler 等对水獭密度的研究进行了修改制定^[12]。

(1) 水獭的平均密度:

$$\bar{D} = \frac{1}{n L_k} \sum_{k=1}^n w_k \quad (1)$$

式中, $\bar{D}$ 为水獭种群的平均密度; n 为样线的数量; L_k 为第 k 条样线长度; w_k 为第 k 条样线中水獭的数量。

(2) 水獭分布密度的置信区间:

$$\bar{D} = \bar{D} \pm \frac{t_{0.8} SD}{\sqrt{n-1}} \quad (2)$$

式中, $\bar{D}$ 为水獭分布密度的置信区间 (置信概率 $P=80\%$, 自由度为 $f=n-1$); SD 为标准差; $t_{0.8}$ 为分布表的值。

(3) 水獭种群数量和估计区间, 如下:

$$N = \bar{D} \times L \quad (3)$$

式中, N 为研究区域水獭种群数量; L 为研究区域的河流长度。

(4) 调查精度估计:

$$P = \left(1 - \frac{t_{0.2} SD}{\sqrt{n-1} \bar{D}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

式中, P 为调查精度; $t_{0.2}$ 为分布表的值。

2.2.2 水獭生境 GAM 模型构建

广义可加模型 (GAM) 由 Hastie 和 Tibshirani 提出, 该模型在研究野生动物与栖息生境因子关系中被广泛应用^[13-14]。GAM 模型的优点是可以分析关系为非线性和非单调的响应变量和解释变量的数据^[15]。本研究建立水獭活动点与环境因子之间关系的 GAM 预测模型, 分析环境因子对水獭出现频率的影响, 所有的统计分析均使用 R 软件 MGCV 包完成。在 GAM 模型构建过程中逐步加入各个影响因子, 根据赤池信息准则 (AIC) 和广义交叉检验 (GCV) 的检验值选择最优模型, 值越小代表模型拟合效果越好。水獭活动点与各生境因子的表达式为:

$$Y(A) \sim x_1(E) + x_2(Ro) + x_3(Re) + x_4(We) + x_5(Gr) + x_6(Fa) + x_7(De) + x_8(Wi) + x_9(Fo)$$

式中, A 为水獭的活动点数量; E 为海拔高度; Ro 为距道路距离; Re 为距居民区距离; We 为距湿地距离; Gr 为距草地距离; Fa 为距农田距离; De 为河流深度; Wi 为河流宽度; Fo 为距森林距离。

3 结果

3.1 水獭种群分布数量

样线调查发现水獭新鲜足迹共计 76 条 (其中预调查 18 条), 研究地区水獭种群平均密度为沿河道 (0.5559 ± 0.2898) 只/km, 种群数量 571—661 只。样线调查精度为 98.00%, 表明调查结果能充分反映完达山东部地区水獭种群的实际情况。水獭在研究区域内分布广泛, 其中在大别拉坑河和青山口河密度较高, 在大带河和西南岔河密度较低。研究区域内水獭密度整体呈现中间高, 四周低的趋势, 如图 2 所示。

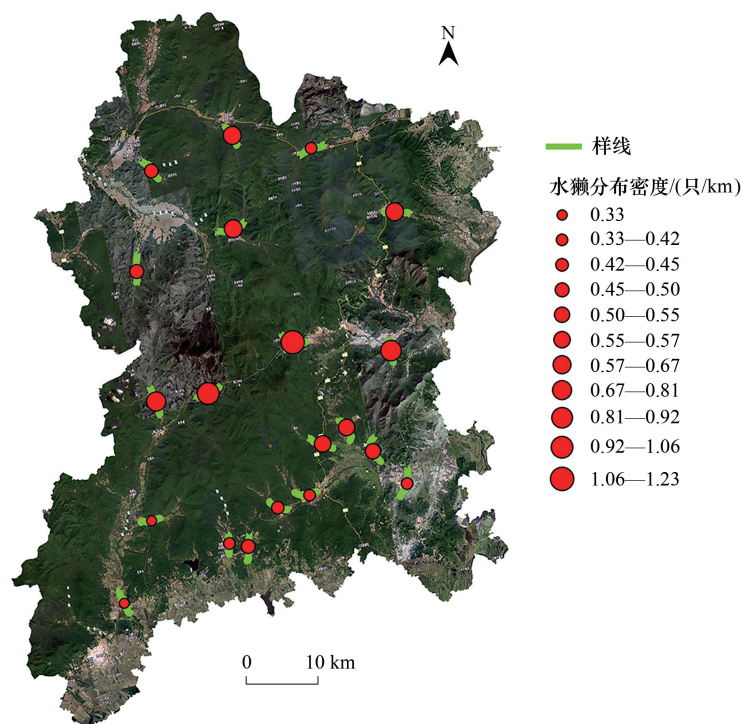


图 2 水獭分布密度图

Fig.2 Otter distribution density map

3.2 水獭生境 GAM 模型

根据 GCV 值, 使用 9 个因子建立水獭生境 GAM 模型, 选择 GCV 值最低 (0.643) 的模型为最优模型。结果表明, 水獭出现频次与距农田距离、距道路距离、距居民区距离和河流深度 4 个因子存在显著效应。该模型

的总偏差解释率为 77.2%,截距为 32.51,实际值几乎全部落在 95%的置信区间内($R^2 = 0.752$)。其中距道路距离偏差解释率为 43.1%、距农田距离偏差解释率为 37.2%、距居民区距离偏差解释率为 9.2%、河流深度偏差解释率为 68.5%,详见表 1。

表 1 环境因子与水獭出现频次的广义可加(GAM)模型统计结果

Table 1 GAM model statistical results of environmental factors and otter occurrence frequency

因子 Factors	广义交叉验证 Generalized cross validation	累计解释偏差 Sum of deviance	赤池信息准则 Akaike information criterion
距道路距离 Distance to road/m	0.143	43.1	82.89
距居民区距离 Distance to residential area/m	0.226	49.2	124.94
河流深度 The depth of the river/cm	0.079	73.6	29.60
距农田距离 Distance to farmland/m	0.160	77.2	93.19

在这 4 个影响因子中,河流深度对水獭出现频次的影响程度最显著,其次是距农田距离和距道路距离,影响程度最低的是距居民区距离。各因子对水獭出现频次影响的变化趋势如图 3。

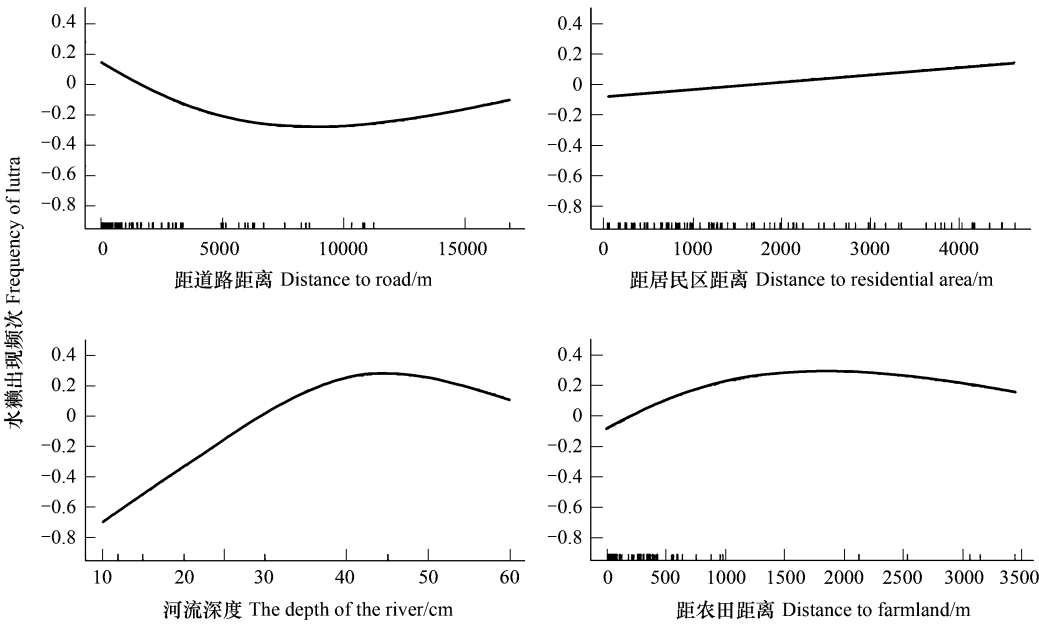


图 3 水獭出现频次与各变量之间的广义可加模型变量曲线变化趋势图

Fig.3 Generalized additive model response curves (solid lines) with 95% confidence intervals (dashed parts) for each covariate in the linear predictor were obtained from the best-fit model between otter frequency and each variable

4 讨论

本研究采用随机样线法和红外相机监测技术相结合的方法调查得到完达山东部水獭种群的密度和数量,同时利用广义可加模型,分析了影响完达山东部地区水獭出现频次的主要环境因素。该研究成果对于完善东北地区水獭种群数据库,保护欧亚水獭栖息生境具有重要意义。

在野生动物种群数量调查中的统计指标一般为足迹数、粪便、实体数,或采用花纹比对(虎或豹)^[16–17]。已有研究证明,随着季节和食物量变化,水獭粪便和其他活动痕迹的数量变化巨大且没有规律^[18–20]。由于水獭种群数量少,足迹大小识别个体较难,体表无花纹,且粪便通常会聚集在一个固定位置,像“厕所”一样^[21],所以通过单一收集粪便来统计水獭种群数量往往存在较多误差^[22–23]。因此,本研究通过沿河样线调查获得的新鲜足迹数与相应位置相机监测获得的实体数进行比对分析,发现足迹链数和实体数为 1:1 关系,该结果

相比于其他学者采用粪便调查来代表区域水獭数量更加准确^[24]。已有研究表明水獭活动范围与人为干扰和猎物丰富度有着紧密的关系^[25],本研究调查区域中个别河流样线没有水獭踪迹,可能与距离城市较近,人为干扰较大,河内食物匮乏相关^[26]。本研究结果与 Sittenthaler 等(0.34 只/km)和 Ruiz-Olmo 等(0.26 只/km)等调查河流水獭密度的结果一致,从种群数量来看,完达山东部水獭已经建立一个可以自我维持的种群^[12,27—28]。

已有研究表明,河流深度与猎物丰富度呈正相关,即河流越深,猎物丰富度越大,水獭分布越多,因此水獭更偏好宽阔且较深的主河作为栖息地^[29]。本次调查中发现,除主河外,部分较深的支流也有水獭活动踪迹,可能与完达山东部保护区河流鱼类资源丰富有关。这也与 Pedroso 等研究结果一致,即随着水獭种群不断扩大,主河附近较深的支流因其鱼类资源丰富也将成为水獭的潜在栖息地^[30—31]。此外,本研究结果显示在河流深度达 40—50 cm 时,水獭出现频次最高,但随后开始下降,可能的原因是河流过深导致水獭的捕食难度增加。

当距道路距离小于 7 km 时,水獭出现频次随着距离增加而降低,这是因为距离河流较近的道路多为林间小道,林区禁止森林采伐后,林间小道人为干扰少,不会对水獭造成负面影响。其次,林间小道主要由以前森林采伐留下的运材道形成,沿河两岸相对较多,所以水獭分布较多。随着距离增大,海拔越高,林间小道往往分布较少,而水獭栖息的河流多分布于相对低海拔区域,所以水獭出现频次相应降低。而当距离大于 7 km 时,水獭出现频次随距离增加而增加,这可能是因为人为干扰减少,对水獭生存起促进作用。距农田距离越远,水獭出现频次越高,与当地农业生产活动中农药使用造成河流水污染等严重人为干扰有关^[32]。但在 1.5—2 km 后,水獭出现频次开始降低,可能与其他因素的相互作用有关,如海拔梯度高引起的鱼类资源减少等。距居民区距离与水獭出现频次呈正相关,距离居民区越远,水獭出现频次越高。但 GAM 模型分析显示,距居民区距离对水獭分布影响的解释偏差率较小,说明低水平的人为干扰,未对水獭栖息地适宜性产生严重的负面影响,这与 Weinberger 等研究结果一致^[33]。另外,在本研究区域内,河流大多分布在林间,距离林木较近,所以森林对水獭分布影响并不显著。综上所述,人为干扰是影响水獭生境适宜性的关键因素,不仅体现在直接的负面影响,也体现在与河岸土地覆盖和森林缓冲区的相互作用上。因此,建议通过管理河岸土地覆盖类型和在河岸周围建立森林缓冲区来缓解人为干扰对水獭栖息地的负面影响。

我国水獭种群动态的研究,大多是使用物种分布模型量化潜在的历史分布,或使用存档和书面记录^[34—35],虽然这些研究结果可以说明水獭的分布,但对水獭的认识十分有限。本研究对水獭分布区进行了实地调查、监测,核实水獭的生存现状,并找出影响其种群数量的主要因素为河流深度和人为干扰。调查发现,完达山东部河流基本分布在保护区内,河流两岸村庄和农田零星分布,加之近年来生态保护意识加强,为水獭提供了更适宜的生存条件,使其在该地区广泛分布,所以完达山东部水獭的活动踪迹逐年增多。但是也有部分地区人员在农业活动中对水獭生存造成一定影响,因此建议农业和林业部门要重点协调好人民生活与野生动物保护的关系,加强水獭保护宣传力度,提升公众保护意识。

参考文献 (References):

- [1] Zhang R, Yang L, Laguardia A, Jiang Z, Huang M J, Lv J A, Ren Y H, Zhang W, Luan X F. Historical distribution of the otter (*Lutra lutra*) in north-east China according to historical records (1950—2014). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2016, 26 (3): 602-606.
- [2] 史国强, 郭艳双, 罗玉梅, 巩振财, 张国利, 朴正吉, 王卓聪. 吉林长白山地区水獭春季岸上活动节律. *野生动物学报*, 2021, 42(3): 693-699.
- [3] Zhang C, Chen M H, Yang L, Zhuang H F, Wu S H, Zhan Z J, Wang J D, Luan X F. Distribution pattern and identification of conservation priority areas of the otter in Northeast China. *Biodiversity Science*, 2022, 30(1): 21157.
- [4] Zhang L, Wang Q Y, Yang L, Li F, Chan B P L, Xiao Z S, Li S, Song D Z, Piao Z J, Fan P F. The neglected otters in China: Distribution change in the past 400 years and current conservation status. *Biological Conservation*, 2018, 228: 259-267.
- [5] 郝玉江, 王克雄, 韩家波, 郑劲松, 先义杰, 姚志平, 鹿志创, 李海燕, 张先锋. 中国海兽研究概述. *兽类学报*, 2011, 31(1): 20-36.
- [6] Cianfrani C, Le Lay G, Maiorano L, Satizábal H F, Loy A, Guisan A. Adapting global conservation strategies to climate change at the European scale: The otter as a flagship species. *Biological Conservation*, 2011, 144(8): 2068-2080.

- [7] 郭艳双, 代玉红, 史国强, 王卓聪, 罗玉梅, 曹淋. 长白山自然保护区冬季水獭活动规律初步研究. 绿色科技, 2020(24): 207-208.
- [8] F.Mason C, M.Macdonald S, 伍建榕. 对英国水獭 (*Lutra lutra*) 种群生长的长期监测. AMBIO-人类环境杂志, 2004, 33(3): 132-136+158.
- [9] Gallant D, Vasseur L, Bérubé C H. Unveiling the Limitations of Scat Surveys to Monitor Social Species: A Case Study on River Otters. Journal of Wildlife Management, 2007, 71(1): 258-265.
- [10] 韩雪松, 董正一, 赵格, 赵翔, 史湘莹, 吕植, 李宏奇. 基于视频监控系统的欧亚水獭活动节律初报及红外相机监测效果评估. 生物多样性, 2021, 29(6): 770-779.
- [11] 田新民, 陈红, 钟林强, 黄海娇, 刘小慧, 张子栋, 杨孟平, 周绍春. 黑龙江省老爷岭南部穆稜林区马鹿种群分布数量及生境适宜性评价. 生态学报, 2022, 42(14): 5980-5989.
- [12] Sittenthaler M, Schöll E M, Leeb C, Haring E, Parz-Gollner R, Hackländer K. Marking behaviour and census of Eurasian otters (*Lutra lutra*) in riverine habitats: what can scat abundances and non-invasive genetic sampling tell us about otter numbers? Mammal Research, 2020, 65(2): 191-202.
- [13] 刘艳华, 牛莹莹, 周绍春, 张子栋, 梁卓, 杨娇, 鞠丹. 老爷岭南部狍冬季移动、卧息生境选择及其适宜性评价. 生态学报, 2021, 41(17): 6913-6923.
- [14] 侯祥, 韩宁, 封托, 张博, 陈晓宁, 王京, 常罡. 气候因素对黑线姬鼠种群动态影响的非线性效应. 生态学报, 2020, 40(14): 4836-4841.
- [15] Shen Z B, Yang Y, Ai L S, Yu C X, Su M R. A hybrid CART-GAMs model to evaluate benthic macroinvertebrate habitat suitability in the Pearl River Estuary, China. Ecological Indicators, 2022, 143: 109368.
- [16] 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]. 东北林业大学, 2011.
- [17] Parry G S, Bodger O, McDonald R A, Forman D W. A systematic re-sampling approach to assess the probability of detecting otters *Lutra lutra* using spraint surveys on small lowland rivers. Ecological Informatics, 2013, 14: 64-70.
- [18] Martínez-Abrán A, Marí-Mena N, Vizcaíno A, Vierna J, Veloy C, Amboage M, Guitián-Caamaño A, Key C, Vila M. Determinants of Eurasian otter (*Lutra lutra*) diet in a seasonally changing reservoir. Hydrobiologia, 2020, 847(8): 1803-1816.
- [19] Hong S, Di Febbraro M, Kim H G, Loy A. Is scat marking a reliable tool for otter census and surveys at the landscape scale? Journal of Environmental Management, 2022, 315: 115098.
- [20] Hong S, Di Febbraro M, Loy A, Cowan P, Joo G J. Large scale faecal (spraint) counts indicate the population status of endangered Eurasian otters (*Lutra lutra*). Ecological Indicators, 2020, 109: 105844.
- [21] Hong S, Kim D K, Do Y, Kim J Y, Kim Y M, Cowan P, Joo G J. Stream health, topography, and land use influences on the distribution of the Eurasian otter *Lutra lutra* in the Nakdong River basin, South Korea. Ecological Indicators, 2018, 88: 241-249.
- [22] Yoxon P, Yoxon K. Estimating Otter Numbers Using Spraints: Is It Possible? Journal of Marine Biology, 2014, 2014: 1-6.
- [23] Hale J R, Laidre K L, Jeffries S J, Scordino J J, Lynch D, Jameson R J, Tim Tinker M. Status, trends, and equilibrium abundance estimates of the translocated sea otter population in Washington State. The Journal of Wildlife Management, 2022, 86(4): e22215.
- [24] Remonti L, Balestrieri A, Smirardo G, Prigioni C. Scent Marking of Key Food Sources in the Eurasian Otter. Annales Zoologici Fennici, 2011, 48(5): 287-294.
- [25] Prigioni C, Remonti L, Balestrieri A. Otter *Lutra lutra* movements assessed by genotyped spraints in southern Italy. Hystrix-Italian Journal of Mammalogy, 2006, 17(1): 91-96.
- [26] Dettori E E, Balestrieri A, Zapata-Perez V M, Bruno D, Rubio-Saura N, Robledano-Aymerich F. Distribution and diet of recovering Eurasian otter (*Lutra lutra*) along the natural-to-urban habitat gradient (river Segura, SE Spain). Urban Ecosystems, 2021, 24(6): 1221-1230.
- [27] Ruiz-Olmo J, Batet A, Mañas F, Martínez-Vidal R. Factors affecting otter (*Lutra lutra*) abundance and breeding success in freshwater habitats of the northeastern Iberian Peninsula. European Journal of Wildlife Research, 2011, 57(4): 827-842.
- [28] Lanszki J, Hidas A, Szentes K, Révay T, Lehoczy I, Weiss S. Relative spraint density and genetic structure of otter (*Lutra lutra*) along the Drava River in Hungary. Mammalian Biology, 2008, 73(1): 40-47.
- [29] Almeida D, Barrientos R, Merino-Aguirre R, Angeler D G. The role of prey abundance and flow regulation in the marking behaviour of Eurasian otters in a Mediterranean catchment. Animal Behaviour, 2012, 84(6): 1475-1482.
- [30] Pedroso N M, Marques T A, Santos-Reis M. The response of otters to environmental changes imposed by the construction of large dams. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2014, 24(1): 66-80.
- [31] Dettori E E, Balestrieri A, Zapata-Pérez V M, Palazón S, Bruno D, Rubio-Saura N, Robledano-Aymerich F. Eurasian otter *Lutra lutra* diet mirrors the decline of native fish assemblages in a semi-arid catchment (River Segura, SE Spain). European Journal of Wildlife Research, 2022, 68(3): 1-9.
- [32] Maria Teresa C, Antoine G, Carmen C, Tiziana S, Anna L, Maria Laura C. A multi-temporal approach to model endangered species distribution in Europe. The case of the Eurasian otter in Italy. Ecological Modelling, 2014, 274: 21-28.
- [33] Weinberger I C, Muff S, de Jongh A, Kranz A, Bontadina F. Flexible habitat selection paves the way for a recovery of otter populations in the European Alps. Biological Conservation, 2016, 199: 88-95.
- [34] Hong S, Do Y, Kim J Y, Cowan P, Joo G J. Conservation activities for the Eurasian otter (*Lutra lutra*) in South Korea traced from newspapers during 1962-2010. Biological Conservation, 2017, 210: 157-162.
- [35] Li F, Chan B P L. Past and present: the status and distribution of otters (Carnivora: Lutrinae) in China. Oryx, 2017, 52(4): 619-626.