



新建西安至十堰高速铁路(陕西段) 施工对沿线兽类群落的影响

王 凌

(陕西省铁道及地下交通工程重点实验室, 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安, 710043)

稿件运行过程

收稿日期: 2024-05-31

修回日期: 2024-07-17



摘 要

关键词: 西十高铁(陕西段);
道路交通;
兽类;
栖息地;
生态效应

Keywords: Xi'an-Shiyan High-speed railway (Shaanxi section);
Road traffic;
Mammals;
Habitat;
Ecological effect

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2025)-02-0259-10

DOI: 10.12375/ysdwxb.20250203

新建西安至十堰高速铁路(以下简称“西十高铁”)是我国中长期铁路网规划项目,贯穿陕西、湖北,途经秦岭山区,沿线野生动物十分丰富。为了解西十高铁施工给沿线野生动物带来的影响,分别于2021年(开工前)和2023年(施工期)采用样线法对沿线70个施工点及其周边的兽类开展调查,采用香农-维纳指数(H)衡量开工前后铁路沿线各类型施工点的兽类物种多样性。结果显示:开工前记录到兽类24种,施工期记录到19种,施工期调查区域内遇见兽类及其痕迹的频率比开工前普遍下降。林麝(*Moschus berezovskii*)、中华鬣羚(*Capricornis milneedwardsii*)、毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*)和黄喉貂(*Martes flavigula*)等对铁路施工的反应最为敏感,黼鼯(*Melogale moschata*)次之。中华斑羚(*Naemorhedus griseus*)、亚洲黑熊(*Ursus thibetanus*)等国家重点保护野生动物的遇见频率也显著下降($P < 0.05$)。不同施工类型对沿线兽类的影响程度不同,隧道口、斜井口、横洞口及弃渣加工点等施工类型对兽类影响最大,该类型施工区域的兽类物种多样性指数 H 下降幅度最大;弃渣场、新建施工便道和污水处理站对兽类影响中等;桥梁、施工便道(既有道路)、路基、拌和站和职工生活区等施工类型对兽类影响程度弱。建议西十高铁后续施工期和运营初期持续开展沿线兽类监测,及时了解西十高铁对沿线兽类的影响,据此提出科学合理的补救措施,缓解工程对沿线生物多样性的影响。

基金项目: 新建西安至十堰高速铁路(陕西段)开工前动植物详查项目(TYY2023-TPO20);新建西安至十堰高速铁路(陕西段)建设期(2023年)动植物监测项目(TYY2023-TPO21)

作者简介: 王凌(1979—),女,高级工程师;主要从事环境影响评价、环境保护设计等工作。E-mail: 13659219820@163.com

The Impact of the Construction of the Newly-built Xi'an to Shiyao High-speed Railway (Shaanxi Section) on the Mammal Community Along the Railway

WANG Ling

(Shaanxi Railway and Underground Traffic Engineering Key Laboratory,
China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an, 710043, China)

Abstract: The newly-built Xi'an to Shiyao High-speed railway, is China's medium-and long-term railway network planning project, running through Shaanxi and Hubei Province, and passing through the Qinling Mountains and abundant wildlife distribute along the railway. In order to understand the impact of railway construction on wildlife along the route, a survey of wild animals using line transect method in 70 construction sites and their surrounding areas was carried out in 2021 and 2023, respectively. The Shannon-Wiener index was used to evaluate the diversity of animal species at various construction sites along the railway before and after the construction. The results showed that 24 and 19 species of wild mammals were found before and during the construction, respectively, and the frequency of wild animals and their traces in the survey area encountered during construction generally decreased compared with that before the construction. *Moschus berezovskii*, *Capricornis milneedwardsii*, *Elaphodus cephalophus*, and *Martes flavigula* were the most sensitive to the railway construction, followed by *Melogale moschata*. The frequency of encounters of key national protected animals including *Naemorhedus griseus* and *Ursus thibetanus* also decreased significantly ($P < 0.05$). Moreover, different construction types also have different impacts on mammals along the railway. Tunnel entrance, inclined well entrance, cross entrance and slag disposal point have the greatest impacts on the mammals, and the species diversity index H in the construction area of these construction types has the greatest decline. The slag disposal ground, new construction road and sewage treatment station have the medium influence, and the construction types such as bridge, construction road (existed road), roadbed, mixing station and workers' living area have the weak influence on the animals. Our study suggested that the following construction period and the initial operation period of the railway animal monitoring along the railway should be carried out continuously, so as to timely understand the impact of the railway on the animals along the line, and put forward scientific and reasonable remedial measures to mitigate the impact of the project on biodiversity along the railway.

道路作为连接城市与城市之间经济关系的重要枢纽,对经济社会发展至关重要,随着市场经济的不断发展和完善,需要不断加大道路建设力度和优化交通建设方案^[1]。道路建设对生态环境尤其是野生动物造成了直接或者间接的影响^[2-5]。高铁是经济社会发展不可或缺的保障和基础设施,当前我国高铁建设正处于飞速发展阶段,而生物多样性保护是生态文明建设的重要内容,在当前生态文明建设的时代背景下,如何平衡高铁建设与生物多样性保护之间的关系显得尤为重要。

道路建设对野生动物的影响主要体现在施工期破坏野生动物栖息地,造成野生动物栖息地破碎

化^[6-7]。栖息地连通性降低进一步阻碍野生动物繁殖和扩散,影响野生动物之间的基因交流,最终造成野生动物基因多样性下降,甚至导致种群灭绝^[8]。不同野生动物的生存能力各不相同,面对栖息地丧失或破碎化,适应能力弱、扩散能力差的物种将会受到更大的影响^[9-10]。道路建设引起的栖息地破碎化,导致野生动物种群之间的连通性下降,部分野生动物被迫走上道路,造成伤亡事故,死亡率大大提高^[11]。据报道,全球每年有数百万野生动物死于道路交通事故^[12-14]。

新建西安至十堰高速铁路(以下简称“西十高铁”)是我国中长期铁路网规划项目。该线路西起陕

西省西安市,向东南引线穿越秦岭山脉,经商洛和十堰两市,与武汉至十堰铁路相接,形成西安至武汉又一快速铁路客运通道。线路行经渭河盆地及秦岭山地,连接关中平原与江汉平原,依次经过西安市灞桥区、长安区和蓝田县,商洛市商州区、山阳县,十堰市郧西县、郧阳区和张湾区。线路全长 255.84 km,其中陕西省境内 169.48 km,湖北省境内 86.36 km。速度目标值 350 km/h。2021 年 12 月底开工建设,计划 2026 年 6 月底开通运营,建设工期 4.5 年。《中华人民共和国生态环境部环审[2021]82 号关于〈新建铁路西安至十堰线环境影响报告书〉的批复》(以下简称“《批复》”)中指出,为减缓西十高铁工程对沿线生态环境影响,“开工前针对施工区域开展动植物详查,必要时对临时辅助工程进行优化”。鉴于道路建设对野生动物的诸多不利影响以及《批复》要求,有必要在西十高铁施工前和建设期乃至运营期对沿线野生兽类及其动态等开展调查监测。在此背景下,分别于 2021 年(开工前)和 2023 年(施工期)沿相同路线开展西十高铁(陕西段)沿线兽类调查,旨在明确铁路建设前后沿线野生兽类的种类和数量的变化动态,及时了解施工对沿线兽类的影响,根据研究结果向施工单位提出进一步缓解工程对生物多样性不利影响的措施和建议,为制定西十高铁沿线生物多样性保护措施提供依据,也为国内其他类似铁路工程建设中的野生动物保护提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

秦岭是我国自然地理的南北分界线,为北亚热带向南暖温带的过渡地带,其特殊的地理位置,多样的气候类型和丰富的地貌类型,为各种生物种类的产生和繁衍提供了优越的生境。秦岭山脉也是全球 25 个生物多样性热点地区和中国 14 个生物多样性关键地区之一,在陕西省乃至全国生态文明建设中处于关键地位^[15]。野生动植物是生态环境的重要组成部分,在自然生态系统中发挥着不可替代的作用。2020 年,习近平在陕西考察时强调,秦岭和合南北、泽被天下,是我国的中央水塔,是中华民族的祖脉和中华文化的重要象征。保护好秦岭生态环境,对确保中华民族长盛不衰、实现“两个一百年”奋斗目标、实现可持续发展具有十分重大而深远的意义^[16]。西十高铁穿越秦岭,本研究以西十高铁(陕西段)沿线

施工区为研究区域,工程主要以隧道、桥梁形式穿越秦岭山区,设有施工便道、弃渣场、弃渣加工点、拌和站和污水处理站等临时辅助工程。

1.2 野外调查

西十高铁(陕西段)开工前,通过历史资料查阅和咨询专家,初步了解工程穿越区域的自然环境和野生动物分布特征,之后开展现地调查。样线调查中记录实际看到的兽类实体及其痕迹(粪便、足迹、毛发、卧迹、巢穴、采食痕迹和叫声等)的种类、数量,使用 GPS 户外手持机(eTrex 201x, GARMIN)记录航迹、经纬度等地理信息,同时访问附近村民,了解施工区域野生动物分布现状及其动态变化。由于村民提供兽类的名称多为俗名(如麻羊、黄羊和獐子等),为保证访问调查结果的准确性,调查人员用随身携带的《中国兽类图鉴》^[17]中相关物种图片与村民现场核对。调查样线单侧宽度为 50~200 m,具体宽度根据现场生境类型调整。

调查范围包括新建西十高铁(陕西段)沿线施工区域,外扩到周边 1 km,从西十高铁(陕西段)沿线数百个施工点中筛选 70 个施工点作为本研究的重点调查区域,主要筛选位于秦岭山区偏僻地段的施工点,辅以少部分远离居民区的平原施工点,这类施工点往往是野生动物丰富区域。施工类型主要包含隧道进出口、斜井口、横洞口、弃渣场、拌和站和新建施工便道等。外业调查分别于铁路开工前(2021 年 8—9 月、12 月)和施工期(2023 年 7—8 月、12 月)开展,即每个施工点分别开展夏季、冬季共两轮调查。重点调查点和调查样线分布见图 1。

1.3 数据分析

1.3.1 野生动物鉴定

野生兽类鉴别参考《中国兽类图鉴》^[17]和《秦岭兽类志》^[18],保护级别参考文献[19—21]。兽类粪便、足迹等痕迹现场鉴定,不确定所属物种的痕迹拍照记录,后会同陕西省动物研究所专业人员进行分类鉴定。

1.3.2 野生动物物种多样性分析

运用 Shannon-Wiener 指数(H)分析西十高铁(陕西段)沿线 2021 年和 2023 年不同施工类型区域兽类物种的多样性,采用独立样本 t 检验分析 2021 年和 2023 年兽类物种数的差异,显著性水平取 0.05。 H 计算公式为

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

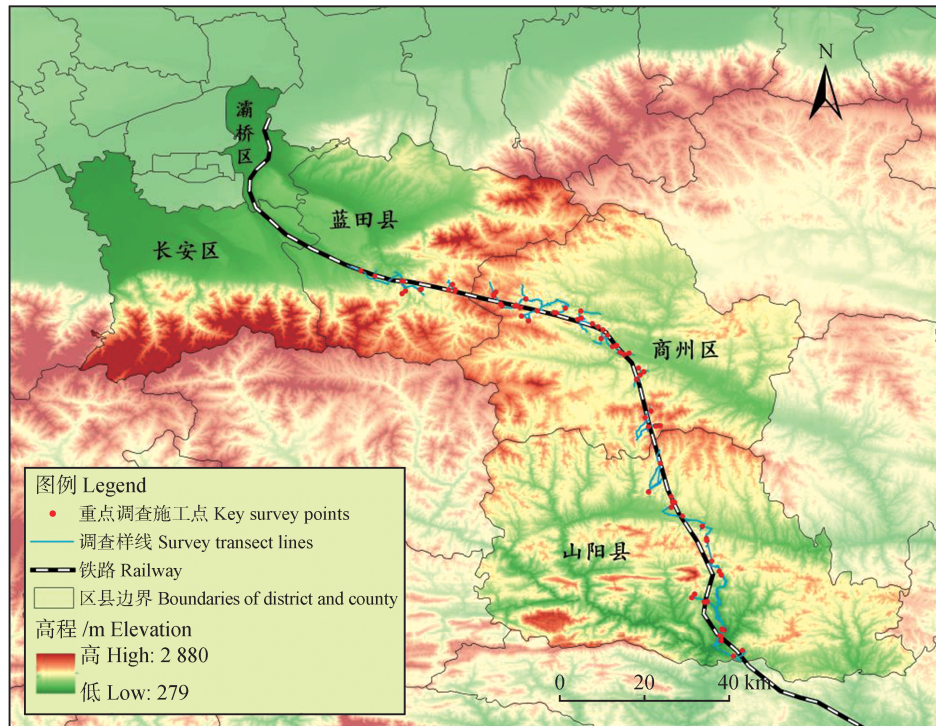


图1 新建西十高铁(陕西段)沿线兽类重点调查点和调查样线分布

Figure 1 Distribution of key survey points and transect lines along the newly-built Xi'an to Shiyan high-speed railway (Shaanxi section)

1.3.3 施工对兽类影响程度分析

关于干扰因素对野生动物干扰强度的划分并没有统一标准,在本研究中不同施工类型对兽类的影响程度缺乏可供参考的统一标准。因此,本研究将筛选的70个施工点分类型统计,对比西十高铁(陕西段)施工期和开工前各类型施工区域记录到兽类物种数的下降程度,即按照物种数下降的显著性区分影响程度,将不同施工类型对兽类影响的程度划分为强、中、弱3个等级:(1)强,物种数极显著下降($P < 0.01$);(2)中,物种数显著下降($0.01 \leq P < 0.05$);(3)弱,物种数下降不显著($P > 0.05$)。

2 调查结果

通过对新建西十高铁(陕西段)开工前(2021年)和施工期(2023年)沿线重点筛选的70个施工点及其周边的调查,获得开工前后西十高铁(陕西段)沿线施工区域分布兽类种类、发现位置和遇见频率等信息。

2.1 兽类多样性

西十高铁(陕西段)开工前(2021年)沿线施工区域共记录到兽类5目12科24种,其中,国家一、二级

重点保护兽类7种,包括1种国家一级重点保护野生动物林麝(*Moschus berezovskii*),6种国家二级重点保护野生动物,即亚洲黑熊(*Ursus thibetanus*)、黄喉貂(*Martes flavigula*)、豹猫(*Prionailurus bengalensis*)、毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*)、中华鬣羚(*Capricornis milneedwardsii*)和中华斑羚(*Naemorhedus griseus*)。除野猪(*Sus scrofa*)外,其余均为国家“三有”野生动物,其中,花面狸(*Paguma larvata*)、猪獾(*Arctonyx collaris*)、亚洲狗獾(*Meles leucurus*)、鼬獾(*Melogale moschata*)、狍(*Capreolus pygargus*)和小鹿(*Muntiacus reevesi*)6种兽类也被列入《陕西省重点保护野生动物名录》(表1)。

西十高铁(陕西段)施工期(2023年)沿线施工区域共记录到兽类5目11科19种。与开工前相比,施工期减少5种兽类,包括林麝、中华鬣羚、毛冠鹿、黄喉貂和鼬獾,其余仍有分布兽类的遇见率大多显著降低。未发现实体或痕迹的5种兽类中鲸偶蹄目(Cetartiodactyla)3种,分别为麝科(Moschidae)、鹿科(Cervidae)和牛科(Bovidae)各1种;食肉目(Carnivora)2种,均为鼬科(Mustelidae)(表1)。

表1 新建西十高铁(陕西段)沿线施工区域开工前后兽类分布

Table 1 Species of wild mammals before and during the construction of the construction area along the newly-built Xi'an to Shiyan high-speed railway (Shaanxi section)

物种 Species	保护级别 Protection level	开工前(2021) Before construction	施工期(2023) During construction	遇见频率 Encounter frequency
一、劳亚食虫目 Eulipotyphla				
(一) 獭科 Erinaceidae				
1. 东北刺猬 <i>Erinaceus amurensis</i>	三有	++	++	↓
2. 达乌尔猬 <i>Mesechinus dauuricus</i>	三有	+	+	—
二、食肉目 Carnivora				
(二) 熊科 Ursidae				
3. 亚洲黑熊 <i>Ursus thibetanus</i>	二级	++	+	↓
(三) 鼬科 Mustelidae				
4. 黄喉貂 <i>Martes flavigula</i>	二级	+	○	↓
5. 鼬獾 <i>Melogale moschata</i>	三有, 陕西省级	+	○	↓
6. 黄鼬 <i>Mustela sibirica</i>	三有	++	++	↓
7. 猪獾 <i>Arctonyx collaris</i>	三有, 陕西省级	+++	+++	↓
8. 亚洲狗獾 <i>Meles leucurus</i>	三有, 陕西省级	++	+	↓
(四) 灵猫科 Viverridae				
9. 花面狸 <i>Paguma larvata</i>	三有, 陕西省级	++	+	↓
(五) 猫科 Felidae				
10. 豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i>	二级	++	+	↓
三、鲸偶蹄目 Cetartiodactyla				
(六) 猪科 Suidae				
11. 野猪 <i>Sus scrofa</i>	无	+++	+++	↓
(七) 麝科 Moschidae				
12. 林麝 <i>Moschus berezovskii</i>	一级	+	○	↓
(八) 鹿科 Cervidae				
13. 毛冠鹿 <i>Elaphodus cephalophus</i>	二级	++	○	↓
14. 狍 <i>Capreolus pygargus</i>	三有, 陕西省级	+++	+++	↓
15. 小鹿 <i>Muntiacus reevesi</i>	三有, 陕西省级	+++	+++	↓
(九) 牛科 Bovidae				
16. 中华鬣羚 <i>Capricornis milneedwardsii</i>	二级	++	○	↓
17. 中华斑羚 <i>Naemorhedus griseus</i>	二级	+++	++	↓
四、啮齿目 Rodentia				
(十) 豪猪科 Hystricidae				
18. 豪猪 <i>Hystrix hodgsoni</i>	三有	+++	+++	↓
(十一) 松鼠科 Sciuridae				
19. 隐纹花松鼠 <i>Tamiops swinhoei</i>	三有	++	++	↑
20. 赤腹松鼠 <i>Callosciurus erythraeus</i>	三有	+	+	—
21. 珀氏长吻松鼠 <i>Dremomys pernyi</i>	三有	++	++	—
22. 岩松鼠 <i>Sciurotamias davidianus</i>	三有	+++	+++	—
23. 花鼠 <i>Tamias sibiricus</i>	三有	++	++	—
五、兔形目 Lagomorpha				
(十二) 兔科 Leporidae				
24. 蒙古兔 <i>Lepus tolai</i>	三有	+++	+++	↓

注：○. 未发现；+ . 发现1~3次实体或痕迹；++ . 发现4或5次实体或痕迹；+++ . 发现5次以上实体或痕迹；↓、—、↑分别表示施工期遇见动物实体或痕迹频率相比开工前下降、相当、上升。

Note: ○. No discovery; +. 1 to 3 entities or traces have been found; ++. 4 to 5 entities or traces have been found; +++. Entities or traces have been found more than 5 times; ↓, —, and ↑ indicates that the frequency of animal entities or traces during the construction period is lower, equal, and higher than that before construction, respectively.

从施工类型看,开工前,西十高铁(陕西段)沿线分布的12个弃渣场分布有种类最多的兽类(21种),隧道口次之(15种),职工生活区最少(3种);开工后,隧道口、斜井口、横洞口,以及弃渣加工点的兽类下降幅度最大,尤其前三者,仅记录到野猪、蒙古兔(*Lepus tolai*)和少量松鼠科(Sciuridae)兽类,相应地,这4类区域的兽类物种多样性指数 H 下降也最为显著。其余施工类型区域兽类物种多样性指数 H 微弱

降低。独立样本 t 检验结果显示,对比开工前,施工期隧道口、斜井口、横洞口和弃渣加工点4种施工区域的兽类物种数极显著下降($P < 0.01$),反映这些施工类型对兽类影响程度强,尤其是隧道口最为显著。弃渣场、施工便道(新建)和污水处理站3种施工类型区域兽类亦显著下降($P < 0.05$),桥梁、施工便道(既有道路)、路基、拌和站和职工生活区5种施工类型对兽类影响程度弱($P > 0.05$)(表2)。

表2 新建西十高铁(陕西段)施工区域开工前和施工期兽类物种数及其多样性指数

Table 2 Mammal species and its diversity index in the construction area before and during the construction of the newly-built Xi'an to Shiyang high-speed railway (Shaanxi section)

施工类型 Construction types	施工点数量/个 Number of construction site	多样性指数 Diversity index		物种数量/种 Species No.		t 检验 t -test	
		开工前(2021) Pre-construction	施工期(2023) Construction period	开工前(2021) Pre-construction	施工期(2023) Construction period	t	P
		隧道口 Tunnel entrance	11	3.31	1.28	15	3
斜井口 Inclined well entrance	6	2.93	1.24	10	3	14.506	0.004
横洞口 Cross entrance	5	2.33	1.17	7	2	2.877	0.001
弃渣加工点 Slag disposal point	4	3.12	1.84	11	6	10.500	0.008
弃渣场 Slag dump	12	3.57	2.76	21	15	2.793	0.022
施工便道(新建) Construction road (newly-built)	4	3.28	2.59	11	7	1.929	0.027
污水处理站 Sewage treatment station	5	1.48	1.28	4	3	0.086	0.012
桥梁 Bridge	3	1.46	1.30	5	4	3.028	0.108
施工便道(既有道路) Construction road (existed road)	3	1.16	1.12	4	4	3.200	0.678
路基 Roadbed	3	1.28	1.24	5	4	16.000	0.374
拌和站 Mixing station	10	1.54	1.49	6	5	0.073	0.051
职工生活区 Living area	4	1.11	1.07	3	3	1.000	0.537

2.2 不同施工类型对兽类的影响程度

通过对比分析西十高铁(陕西段)开工前和施工期沿线兽类的调查结果,包括记录到兽类及其痕迹的种类、数量和分布等,尤其是比较西十高铁(陕西段)开工前后多样性指数的变化,笔者总结了各施工类型对沿线兽类的影响程度,用强、中、弱3个等级

划分(表3)。其中隧道口、斜井口、横洞口和弃渣加工点4种施工类型对兽类影响程度为强,弃渣场、施工便道(新建)和污水处理站3种施工类型对兽类影响程度为中,桥梁、施工便道(既有道路)、路基、拌和站和职工生活区5种施工类型对兽类影响程度为弱。从受影响区域的植被型来看,强影响区域的植

被型均为针阔叶混交林,这类区域一般海拔较高,植被茂密,受人类活动影响较少,为野生动物尤其兽类提供了良好的栖息环境。中影响区域除弃渣场外出

现了较多的灌草丛,植被覆盖率下降。弱影响区域以一般农田和撂荒地为主,是植被覆盖率最低的区域。分布海拔亦最低,人类活动相对频繁。

表3 新建西十高铁(陕西段)施工期各施工类型对兽类影响级别

Table 3 Influence level of different construction types on mammal during construction period of the newly-built Xi'an to Shiyan high-speed railway (Shaanxi section)

施工类型 Construction types	影响程度 Influence degree	受影响区域的植被型 Vegetation type of the affected area	主要影响方式 Main influence way	备注 Remark
隧道口 Tunnel entrance	强	针阔叶混交林	噪声干扰(隧道爆破、发电机、洞口超大功率鼓风机等),光干扰(夜间施工照明设施),其他(运渣车辆、施工人员频繁活动等)	少部分隧道口紧邻灌草丛、农田
斜井口 Inclined well entrance	强	针阔叶混交林	同隧道口,干扰强度稍弱,主要为频繁来往的运渣车辆、施工人员活动	斜井是由地面倾斜挖筑的与主隧道相连的辅助坑道,大大增加了铁路施工的作业面,提高运渣等施工效率,因此斜井一般位于隧道进口和出口之间,少部分斜井口紧邻灌草丛、农田
横洞口 Cross entrance	强	针阔叶混交林	同隧道口或斜井口,干扰强度稍弱,主要为频繁来往的运渣车辆、施工人员活动	横洞是与主隧道线路方向成一定平面交角,近于水平的辅助坑道,其功能与斜井基本相同
弃渣加工点 Slag disposal point	强	针阔叶混交林	加工碎石的器械产生的持续噪声,频繁持续出设的运渣车辆、灰尘	西十高铁(陕西段)沿线的弃渣加工点均位于弃渣场,就地取材
弃渣场 Slag dump	中	针阔叶混交林为主,部分灌草丛	弃渣量大,占据兽类栖息地面积最大,频繁持续出设的运渣车辆	多位于偏僻山沟,尤其是沟脑
施工便道(新建) Construction road (newly-built)	中	针阔叶混交林、灌草丛、撂荒地	占据少量兽类栖息地,频繁持续出设的运渣车辆	多为运输车辆通往弃渣场的新建便道
污水处理站 Sewage treatment station	中	灌草丛、撂荒地	占据少量兽类栖息地;管理人员活动	多位于隧道口附近
桥梁 Bridge	弱	灌草丛、针阔叶混交林、水生植被等	工程车辆、施工人员带来的干扰	穿越较多生境类型
施工便道(既有道路) Construction road (existed road)	弱	灌草丛	工程车辆、施工人员带来的干扰	利用已有道路,开工前兽类分布稀少
路基 Roadbed	弱	一般农田、撂荒地	工程车辆、施工人员带来的干扰	邻近或位于居民区,开工前兽类分布极少
拌和站 Mixing station	弱	一般农田、撂荒地	机械噪声,频繁的运输车辆和施工人员活动	所处区域临近居民区,开工前兽类分布稀少
职工生活区 Living area	弱	一般农田、撂荒地	频繁施工人员活动和夜间照明设备带来的光干扰	邻近居民区

3 讨论

3.1 不同兽类对铁路施工的响应

与开工前发现的兽类种类相比,西十高铁(陕西段)施工期未记录到实体或痕迹的兽类包括林麝、中华鬃羚、毛冠鹿、黄喉貂和鼬獾,其余被发现的兽类其遇见率也全面下降。铁路施工改变了野生动物原

有栖息地状况,导致野生动物在施工地的分布发生改变。道路施工过程中的噪声、灯光等导致野生动物回避道路及其两侧区域,减少对道路两侧区域的利用,形成道路影响域^[22-24]。此次调查表明,在施工期内,原栖息地内的亚洲黑熊、花面狸、豹猫和中华斑羚等兽类在施工区周围出现的频率明显降低。林麝、中华鬃羚、毛冠鹿、黄喉貂和鼬獾等兽类已产生

回避行为,迁移到距离施工区域较远或更高海拔区域。不同动物对道路工程的回避距离也不同,通常与动物习性、受干扰程度和食物资源丰度等因素有关^[25-28]。本研究表明,林麝、中华鬣羚、毛冠鹿对道路施工工程的响应较为明显,其回避距离也更远,同为鹿科动物的小鹿依然多见,尤其在弃渣场周边区域,但总体上遇见频率有所下降。部分警惕性较低动物如野猪、豪猪(*Hystrix hodgsoni*)等对道路施工回避距离较短。

3.2 铁路施工对兽类的主要影响因素

调查结果显示,西十高铁(陕西段)施工对沿线施工区域兽类群落造成显著影响。这些影响,一部分是暂时的,如弃渣场;一部分是永久的,如隧道口、路基,不同施工类型对兽类影响程度也明显不同。隧道及斜井是新建西十高铁(陕西段)全线主要工程类型,洞口爆破、出渣、人员活动频繁、机械设备众多、发电、污水处理、临建及材料堆放场占地面积大,其对野生动物的干扰程度最强。比较开工前调查结果,隧道口、斜井口和横洞口的兽类下降尤为明显,开工前有分布的兽类已无踪迹,包括亚洲黑熊、中华斑羚、黄喉貂和豹猫等已迁移到远离施工场地区域,部分警惕性较低动物(如野猪、豪猪、猪獾等)在个别隧洞口附近可监测到少量痕迹,但警惕性较高的兽类已迁徙到其他未受干扰的生境区域(如林麝、毛冠鹿、中华斑羚、黄喉貂等),这些兽类适应过程较长,其觅食、活动等施工期受到明显干扰。此外,开工前发现鼬獾及其痕迹数量稀少,而施工期未发现,可能有一定的随机性,有待后期施工期的监测结果加以证实。

弃渣为挖掘隧道、斜井、横洞产生的废渣,数量较大(如西十高铁沿线最大的弃渣场西岭隧道3号斜井弃渣场,预计弃渣量达 $133 \times 10^4 \text{ m}^3$,最小的桦树台隧道出口弃渣场的弃渣量也有 $23 \times 10^4 \text{ m}^3$)。弃渣场占据兽类栖息地面积最大,且弃渣场多位于偏僻山沟,这些地带也是兽类较为丰富的区域,然而,弃渣场的兽类物种多样性下降并非最大,笔者认为这是因为弃渣在一定时期内掩埋了大量栖息地植被,但弃渣周围仍为茂密的针阔混交林,兽类暂时避开被掩埋区域,迁移到周边林地,受到的其他干扰也为断断续续的运渣车辆。本研究的冬季调查发现弃渣场及其周边的积雪上分布有大量兽类足迹、少量粪便,这说明弃渣场存在的干扰类型对兽类的影响

并不严重。路基占地面积较为宽阔,全段形成狭长的隔离区,中大型兽类可以避开,但小型兽类如蒙古兔、黄鼬,可能对其形成阻隔,影响其觅食、取水和繁殖等。但西十高铁的路基段相隔一定距离预设了人行通道、排水桥涵等,经过一定时间的适应,这些通道、涵管等可以成为一些中小型兽类的通道^[29]。拌和站、职工生活区、路基和施工便道(既有道路)4类施工点多分布于农田、撂荒地,甚至临近居民区,由于这些区域在开工前分布的兽类本底资源稀少,因此施工与否对这些区域的兽类影响甚微。

4 结论

新建西十高铁(陕西段)施工期给沿线施工区域的兽类带来了一定影响,不同施工类型对兽类影响方式和程度不同。与开工前相比,隧道口、斜井口、横洞口及弃渣加工点4种施工区域的兽类物种数量极显著下降,兽类物种多样性指数 H 下降幅度最大,即这4种施工类型对兽类影响最大,其中又以隧道口影响最大。弃渣场、施工便道(新建)和污水处理站3种施工区域的兽类物种数下降程度居中,即影响程度次之。拌和站、职工生活区、路基、桥梁和施工便道(既有道路)5种施工区域的兽类物种数下降程度轻微,即这5种施工类型对兽类影响甚微,其中又以职工生活区影响最轻微。从单个物种来看,林麝、中华鬣羚和毛冠鹿等体型较大的食草动物对铁路施工回避最为明显,小型猛兽黄喉貂的回避也较明显。

新建西十高铁(陕西段)施工期主要影响非隧道段施工区域的野生动物,而该铁路全线隧道总长占铁路全长的60.73%,占秦岭山区线路总长更超80.00%。因此,从西十高铁(陕西段)全线范围来看,兽类受影响区域占全线的比例较小。

综上,新建西安至十堰高速铁路(陕西段)施工对沿线施工区域兽类群落影响显著,但对整个铁路沿线兽类群落影响程度较低,随着后期施工结束和施工方采取的一系列利于生物多样性保护和恢复的措施(如植被恢复、在关键隧洞口安装防护网等),可预测大部分受影响施工区域兽类群落将逐渐恢复。

参考文献:

- [1] 宗跃光,周尚意,彭萍,等.道路生态学研究进展[J].生态学报,2003,23(11):2396-2405.

- ZONG Y G, ZHOU S Y, PENG P, *et al.* Perspective of road ecology development [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (11): 2396-2405.
- [2] BUHO H, JIANG Z, LIU C, *et al.* Preliminary study on migration pattern of the Tibetan antelope (*Pantholops hodgsonii*) based on satellite tracking [J]. *Advances in Space Research*, 2011, 48 (1): 43-48.
- [3] CEIA-HASSE A, BORDA-DE-ÁGUA L, GRILO C, *et al.* Global exposure of carnivores to roads [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2017, 26(5): 592-600.
- [4] 步青松, 董贵奇, 何财松, 等. 青藏铁路格尔木至拉萨段运营期生态环境影响后评价 [J]. *铁路节能环保与安全卫生*, 2013, 3(3): 111-115.
- BU Q S, DONG G Q, HE C S, *et al.* Eco-environmental impact post-assessment of Qinghai-Tibet railway from Golmud to Lhasa in operation [J]. *Railway Energy Saving & Environmental Protection & Occupational Safety and Health*, 2013, 3(3): 111-115.
- [5] CARTER N, KILLION A, EASTER T, *et al.* Road development in Asia: assessing the range-wide risks to tigers [J]. *Science Advances*, 2020, 6(18): eaaz9619.
- [6] 陈济丁, 孔亚平, 陈建业. 绿色公路建设理论与实践 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2017: 54-55.
- CHEN J D, KONG Y P, CHEN J Y. Science and practice of green road in China [M]. Beijing: China Communications Press, 2017: 54-55.
- [7] 刘煌, 邓玉, 李瑞年, 等. 思茅—澜沧高速公路对亚洲象栖息地影响分析及保护措施 [J]. *公路交通技术*, 2018, 34(5): 132-138.
- LIU H, DENG Y, LI R N, *et al.* Analysis and protection measures of the impact of Simao-Lancang expressway on the habitat of Asian elephants [J]. *Technology of Highway and Transport*, 2018, 34(5): 132-138.
- [8] YU H, SONG S Y, LIU J Z, *et al.* Effects of the Qinghai-Tibet railway on the landscape genetics of the endangered Przewalski's gazelle (*Procapra przewalskii*) [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 17983.
- [9] 张相锋, 郭锋, 彭阿辉, 等. 京新高速公路哈腾套海保护区段野生动物通道监测研究 [J]. *野生动物学报*, 2019, 40(4): 848-854.
- ZHANG X F, GUO F, PENG A H, *et al.* Monitoring of wildlife crossings in section of Hatengtahai Nature Reserve along Beijing-Xinjiang expressway [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2019, 40 (4): 848-854.
- [10] LIU S L, DENG L, CHEN L D, *et al.* Landscape network approach to assess ecological impacts of road projects on biological conservation [J]. *Chinese Geographical Science*, 2014, 24(1): 5-14.
- [11] ZHANG L, DONG T, XU W H, *et al.* Assessment of habitat fragmentation caused by traffic networks and identifying key affected areas to facilitate rare wildlife conservation in China [J]. *Wildlife Research*, 2015, 42(3): 266-279.
- [12] GU H J, DAI Q, WANG Q, *et al.* Factors contributing to amphibian road mortality in a wetland [J]. *Current Zoology*, 2011, 57(6): 768-774.
- [13] GRILO C, KOROLEVA E, ANDRÁŠIK R, *et al.* Roadkill risk and population vulnerability in European birds and mammals [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2020, 18(6): 323-328.
- [14] 张洪峰, 苏丽娜, 胡罕, 等. 道路交通建设对野生动物影响及保护措施 [J]. *陕西林业科技*, 2019, 47(5): 92-96.
- ZHANG H F, SU L N, HU H, *et al.* Influence of traffic construction on and protection measures for wild animals [J]. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 2019, 47(5): 92-96.
- [15] 周杰. 秦岭重要水源涵养区生物多样性变化与水环境安全 [M]. 北京: 科学出版社, 2019:i.
- ZHOU J. Biodiversity and water environment security in key regions of water sources of the Qinling Mountains [M]. Beijing: Science Press, 2019:i.
- [16] 习近平在陕西考察时强调: 扎实做好“六稳”工作落实“六保”任务 奋力谱写陕西新时代追赶超越新篇章 [EB/OL]. (2020-04-23) [2024-06-20]. https://www.gov.cn/xinwen/2020-04/23/content_5505476.htm.
- Xi Jinping emphasized during his inspection in Shaanxi: Make solid progress in the “Six Stabilities,” fully implement the “Six Guarantees,” and strive to open a new chapter in Shaanxi’s pursuit of high-quality development in the new era [EB/OL]. (2020-04-23) [2024-06-20]. https://www.gov.cn/xinwen/2020-04/23/content_5505476.htm.
- [17] 刘少英, 吴毅. 中国兽类图鉴 [M]. 3版. 福州: 海峡书局, 2022.
- LIU S Y, WU Y. Handbook of the mammals of China [M]. 3rd ed. Fuzhou: Straits Book Company, 2022.
- [18] 郑生武, 宋世英. 秦岭兽类志 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- ZHENG S W, SONG S Y. Mammals in Qinling Mountain area [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2010.
- [19] 国家重点保护野生动物名录(2021年2月1日修订) [J]. *野生动物学报*, 2021, 42(2): 605-640.
- List of national key protected wild animals in China (revised on February 1, 2021) [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2021, 42 (2): 605-640.
- [20] 国家林业和草原局. 国家林业和草原局公告(2023年第17号): 发布调整后的三有名录 [EB/OL]. (2023-06-30) [2024-06-20]. <https://www.forestry.gov.cn/lyj/1/gsgg/20230630/509640.html>.
- National Forestry and Grassland Administration. Announcement of National Forestry and Grassland Administration (No. 17 of 2023): release of the adjusted animals with three values [EB/OL]. (2023-06-30) [2024-06-20]. <https://www.forestry.gov.cn/lyj/1/gsgg/20230630/509640.html>.
- [21] 陕西省人民政府关于公布重点保护野生动物名录的通知 [EB/OL]. (2022-07-22) [2024-06-20]. <https://www.yfq.gov.cn/gk/>

- zhengcefagui/108619.htm.
- Notice of Shaanxi Provincial People's Government on the publishing of the list of key protected wildlife [EB/OL]. (2022-07-22) [2024-06-20]. <https://www.ylq.gov.cn/gk/zhengcefagui/108619.htm>.
- [22] 吴自有, 杜元宝, 许刚, 等. G219国道沿线西藏野驴的空间分布及其适生性分析: 以仲巴至噶尔段为例[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 2020, 40(3): 18-21;47.
- WU Z Y, DU Y B, XU G, *et al.* Spatial distribution and suitability analysis of *Equus kiang* along G219 national road: case study of road section from Zhongba to GaEr[J]. Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition), 2020, 40(3): 18-21;47.
- [23] RU H, XU J, LI M H, *et al.* Impact of traffic noise on Tibetan antelopes: a preliminary experiment on the Qinghai-Tibet highway in China [J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2018, 16(3): 2923-2932.
- [24] GE C, LI Z Q, LI J, *et al.* The effects on birds of human encroachment on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2011, 16(8): 604-606.
- [25] KANG D W, ZHAO Z J, CHEN X Y, *et al.* Evaluating the effects of roads on giant panda habitat at two scales in a typical nature reserve [J]. Science of the Total Environment, 2020, 710: 136351.
- [26] LIAN X M, ZHANG T Z, CAO Y F, *et al.* Road proximity and traffic flow perceived as potential predation risks: evidence from the Tibetan antelope in the Kekexili National Nature Reserve, China [J]. Wildlife Research, 2011, 38(2): 141-146.
- [27] LIAN X M, LI X X, ZHOU D X, *et al.* Avoidance distance from Qinghai-Tibet highway in sympatric Tibetan antelope and gazelle [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2012, 17(8): 585-587.
- [28] 张洁瑜, 程驰, 温知新, 等. 铁路建设项目施工期野生动物调查监测方案探讨[J]. 铁路节能环保与安全卫生, 2021, 11(4): 22-25.
- ZHANG J Y, CHENG C, WEN Z X, *et al.* Discussion on wild animal investigation and monitoring scheme during the railway construction period [J]. Railway Energy Saving & Environmental Protection & Occupational Safety and Health, 2021, 11(4): 22-25.
- [29] 张洪峰, 车利锋, 封托, 等. 秦岭林区公路野生动物通道设计与监测[J]. 公路, 2016, 61(3): 200-204.
- ZHANG H F, CHE L F, FENG T, *et al.* Design and monitoring of highway wildlife passage in Qinling mountains forest region [J]. Highway, 2016, 61(3): 200-204.