

DOI: 10.5846/stxb202102250516

薛亚东, 李佳, 李迪强. 近 40 年野骆驼历史分布区土地利用变化及生境破碎化驱动因素. 生态学报, 2021, 41(20): 7965-7973.

Xue Y D, Li J, Li D Q. Land use change and roadway-induced fragmentation in the historical distribution range of wild camel in the past 40 years. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(20): 7965-7973.

近 40 年野骆驼历史分布区土地利用变化及生境破碎化驱动因素

薛亚东^{1,2}, 李 佳³, 李迪强^{1,2,*}

1 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091

2 生物多样性保护国家林业和草原局重点实验室, 北京 100091

3 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091

摘要: 野骆驼是中亚地区重要的迁徙物种, 历史上完整、连续的野骆驼栖息地目前已成为孤岛状。为了解野骆驼历史分布区受人类活动的影响, 明确造成其历史分布区破碎化的驱动因素, 研究选取土地利用和道路两个因素, 通过对近 40 年来的野骆驼历史分布区土地利用变化和动态度分析, 以及道路密度和影响域计算, 定量评估野骆驼历史分布区景观格局, 以期野骆驼栖息地整体连通性的改善, 避免或缓解线性基础设施建设对野骆驼栖息地的影响提供科学的建议。结果表明: (1) 近 40 年, 野骆驼历史分布区内以未利用土地和草地为主体的格局保持不变, 尤其是沙地、戈壁为主的未利用土地始终占比很大 (>80%); (2) 野骆驼历史分布区范围内道路密度为 0.0410 km/km², 但道路的阻隔作用明显, 野骆驼当前分布区呈 3 个孤岛的格局与道路隔离形成的景观格局是一致的; (3) 野骆驼历史分布区斑块数为 914 个, 西部历史分布区斑块数为 78 个, 远低于中部的 373 个和东部的 463 个, 斑块数和平均斑块面积两个景观指数表明西部的栖息地破碎化程度比中部和东部栖息地要低; (4) 从最大斑块指数来看, 残存的大面积、无路区斑块是当前野骆驼种群得以存续的庇护所。根据当前的景观格局和破碎化状况, 西部分布区和中部分布区间通过实施科学的栖息地连通和廊道建设规划, 将极有可能实现两个孤立种群的交流连通, 中部分布区和东部分布区间种群已基本无连通的可能。建议将更多的保护资源和努力投入到西部和中部分布区种群的维持和连通。在未来的道路规划建设 and 布局中, 要考虑道路规划和建设对野骆驼最小生境面积的影响, 并且要将影响评估尺度放大到整个野骆驼历史分布区的尺度上考虑道路的阻隔作用。

关键词: 野骆驼; 道路; 破碎化; 连通性; 历史分布区

Land use change and roadway-induced fragmentation in the historical distribution range of wild camel in the past 40 years

XUE Yadong^{1,2}, LI Jia³, LI Diqiang^{1,2,*}

1 Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Key Laboratory of Biodiversity Conservation, State Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China

3 Institute of Desertification, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: The wild camel (*Camelus ferus*) is an important migratory species in Central Asia. Unfortunately, its historically intact and continuous distribution has become three isolated regions of habitat (western, middle, and eastern region) as a result of human activity. In an effort to better clarify the driving factors of fragmentation, this study calculated the dynamic index of land use change from 1980 to 2018. Specifically, we evaluated the effects of land use via calculation of road density

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (31800324); 罗布泊野骆驼国家级自然保护区综合科学考察项目

收稿日期: 2021-02-25; **采用日期:** 2021-06-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lidq@caf.ac.cn

and road-effect zone to evaluate the impact of roadways. The results showed that: (1) in the past 40 years, unused land and grassland in the species' historical distribution range has remained unchanged, especially unused land dominated by sand which accounted for over 80% of the wild camel's historical distribution range. (2) Road density in the historical distribution range was 0.0410 km/km^2 , but road barrier effects were large and consistent with the three isolated habitat regions in the current distribution area. (3) The total number of habitat patches in the historical distribution range of the wild camel was 914. These were comprised of 78 patches in the western region, which was much lower than the 373 and 463 patches in the middle and eastern regions, respectively. The number of patches and mean patch size indicated that the degree of habitat fragmentation in the western region was lower than that of the middle and eastern regions. (4) The largest patch index showed that the remaining large and roadless patches were critical for the survival of the current wild camel population. Present-day landscape fragmentation patterns suggest that the western and middle regions could be connected with corridor construction. However, the results indicate that it would be impossible to connect the middle and eastern regions. We recommend that conservation resources and efforts should focus on population maintenance and connectivity of the western and middle regions. Future road building plans must consider the impact of their construction and barrier effect on wild camel habitat, and decision makers should expand assessment to include the entirely historical distribution range of the wild camel, not just the three current isolated habitat regions.

Key Words: wild camel; roads; fragmentation; connectivity; historical distribution range

目前分布于我国西北及中蒙边境地区的野生双峰驼 (*Camelus ferus*, 以下简称野骆驼), 是其所在荒漠生态系统的旗舰物种, 也是中亚地区的重要迁徙物种^[1]。中亚地区迁徙物种的保护受到了国际上的广泛关注, 维持这一野生动物的迁徙热点并缓解其面临的威胁对于全球生物多样性保护具有重要意义^[2]。直到 19 世纪中期, 野骆驼的地理分布区域还相当大, 其范围从青海省苏干湖地区经阿尔金山、罗布泊地区、塔克拉玛干、天山以北卡拉麦里地区, 直到中蒙边境, 且分布区连续^[3]。新中国成立以来, 我国西部地区经济快速发展, 尤其是随着“西部大开发”政策的实施, 西部地区开展了大规模的公路、铁路等交通路网建设^[4]。不断完善的基础设施, 不可避免的给野生动物造成了影响。道路对野生动物造成的影响包括栖息地丧失、栖息地连通性下降、栖息地阻隔和孤岛化等^[5-6]。

目前, 野骆驼种群孤立分布在我国塔克拉玛干沙漠东部、罗布泊北部嘎顺戈壁、阿尔金山北麓及阿奇克谷地(库姆塔格沙漠地区)、以及中蒙边境的外阿尔泰戈壁等地区, 种群数量不足 1000^[7-9]。其中, 塔克拉玛干沙漠种群仅 50 峰左右, 野骆驼会在克里雅河下游至塔里木河南岸间的沙漠里活动和迁移^[10-11]; 得益于库姆塔格沙漠地区保护区网络的有效保护, 近些年的调查表明, 该区域野骆驼种群数量稳中有升, 目前约为 550—650 峰, 部分群体存在阿尔金山北麓与阿奇克谷地间的迁移^[12-14]; 中蒙边境种群目前在中国境内已基本消失, 该种群主要在蒙古国的大戈壁保护区 A 区活动, 种群数量近些年也有增长, 约为 500 峰左右^[15], 卫星跟踪数据显示, 未有个体越过边境活动^[16]。对于野骆驼而言, 长期的栖息地孤岛化可能导致野骆驼种群的近亲繁殖, 进而导致该种群有灭绝的风险。开展野骆驼历史分布区土地利用变化及破碎化研究, 有助于识别野骆驼历史分布区破碎化的主要驱动因素, 定量评估人类活动对不同野骆驼种群分布区破碎化的影响程度, 通过对其分布区景观格局的评估, 可以为野骆驼栖息地整体连通性的改善, 以及促进不同野骆驼种群迁徙扩散提供科学的建议。研究还将为避免或缓解线性基础设施建设或路网规划对野骆驼栖息地的影响提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区域

根据 Schaller 和 Reading 等人的研究^[3,17], 提取野骆驼 1850 年的分布范围作为此次野骆驼历史分布区土地利用变化和破碎化分析的范围(图 1)。通过数据矢量, 该区域面积约为 825476 km^2 。行政区域上涉及了我

国的新疆、青海、甘肃、内蒙古 4 省,以及外蒙古的戈壁阿尔泰省和巴彦洪格尔省,覆盖塔克拉玛干沙漠、库姆塔格沙漠、罗布泊地区以及外阿尔泰戈壁等区域。根据当前野骆驼栖息地分布现状,结合道路分布,国道 218、兰新铁路大致将整个研究区域分为 3 个片区,分别为西部历史分布区(W),主要为塔克拉玛干沙漠中东部区域,面积 182275km²;中部历史分布区(M),主要为库姆塔格沙漠、罗布泊及周边戈壁荒漠地区,面积 317324km²;东部历史分布区(E),主要为蒙古大戈壁保护区、中蒙边境周边区域,面积为 325876km²。野骆驼现存分布区矢量数据来源于 IUCN 濒危物种红色名录对野骆驼的评估^[8],分别为塔克拉玛干沙漠分布区(T),库姆塔格沙漠分布区(K)和中蒙边境分布区(B)。

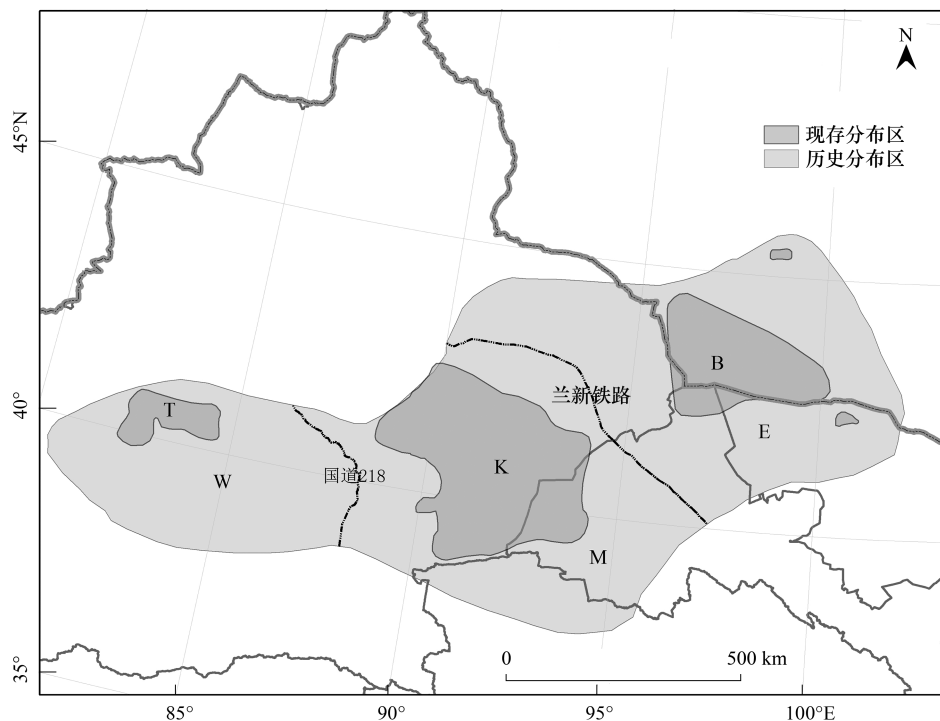


图 1 野骆驼历史分布及现存分布区

Fig.1 Historical distribution range and current distribution range of wild camel

W:西部历史分布区;M:中部历史分布区;E:东部历史分布区;T:塔克拉玛干沙漠分布区;K:库姆塔格沙漠分布区;B:中蒙边境分布区

1.2 数据来源

为评估土地利用对野骆驼分布区的影响,从中国科学院地理与资源研究所和中国科学院资源环境科学数据中心的资源环境数据云平台下载了三期新疆、青海、甘肃、内蒙古 4 省的中国土地利用/土地覆盖遥感监测数据,分别为 1970 年代末期(1980 年)、2000 年和 2018 年。评估中利用一级分类系统,一级分为 6 类,主要根据土地资源及其利用属性,分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地^[18-19]。蒙古国土地利用数据未能获取,但中国境内野骆驼历史分布区占到了整个野骆驼历史分布区面积的 84.5%,具有一定的代表性。

道路数据来自 OpenStreetMap,下载了最新的中国和蒙古国道路矢量数据,包括公路和铁路数据。利用研究区域范围进行数据剪切,获得研究区域范围内道路分布数据,根据 OpenStreetMap 数据字段及其含义,进一步筛选出用于分析的主要公路类型(表 1),用于道路密度和道路影响域面积计算。与国内公路等级进行对照,参考李双成研究中的各级道路特征及缓冲带宽度确定影响域宽度^[20]。铁路数据则参考呼和浩特、兰州、乌鲁木齐三个铁路局线站示意图,确定铁路名称。考虑到铁路的封闭性,将其影响宽度设为 1000m,与高速公路级别一致。

表 1 OpenStreetMap 公路字段、含义、对应的中国公路及影响域宽度

Table 1 Value, meaning, corresponding Chinese road and road-effect zone of OpenStreetMap

OpenStreetMap 公路字段 Value of OpenStreetMap	OpenStreetMap 公路字段含义 Meaning of OpenStreetMap value	对应的中国公路 Corresponding Chinese road	影响域宽度 Road-effect zone/m
Motorway	高速公路	国家高速和省高速	1000
Trunk	干线公路	国道和城市内快速路	500
Primary	主要道路	省道	250
Secondary	次要道路	县道	100
Tertiary	普通道路	乡道	50
Unclassified	小型/未分级道路	等外公路	12.5

1.3 分析方法

对 1980、2000 和 2018 三个时期野骆驼历史分布区内各土地利用类型面积进行统计,利用动态度分析^[21-22],分析其变化情况。

计算公式为:

$$SD = \frac{(A_j - A_i) \times 100\%}{A_i(j - i)}$$

式中:SD 为某地的某类型土地的动态变化度;Ai 为起始时间该土地类型的面积;Aj 为终结时间该类型土地面积。正值表示该类型土地面积在增加,负值表示该类型土地面积在减少。

利用道路密度和道路影响域面积两个指标来定量分析道路对野骆驼历史分布区以及不同种群分布区的影响^[5,23]。道路密度即单位面积内的道路长度(km/km²),道路影响域面积按照不同等级道路影响宽度进行缓冲区分析,并叠加野骆驼栖息地分布,以确定受影响栖息地面积,所有分析均在 ArcGIS 支持下进行。选取景观指数对研究区的景观格局进行分析,包括:(1)斑块数量、平均斑块大小:用于反映道路切割后研究区破碎化程度;(2)最小生境面积斑块数量、最大斑块面积、最大斑块面积占景观面积比例(即最大斑块指数):用于反映野骆驼当前分布区与研究区的关系,参考已有的基于卫星跟踪颈圈的野骆驼家域范围研究^[13-14,16],最小生境斑块面积定为 7300 km²,通过以上指标比较野骆驼整体分布区以及不同种群分布区的破碎化程度。

2 研究结果

2.1 土地利用变化

近 40 年来,研究区耕地和建设用地这两类人类活动土地利用类型的面积一直是增加趋势,两种土地利用类型的面积占整个野骆驼历史分布区的比例从 1980 年的 0.52%增加到 2018 年的 1.12%,增加了 0.6 个百分点,但总体占比很小;草地面积的比例从 1980 年的 14.96%减少到 2018 年的 12.85%,减少了 2.11 个百分点,属于比较剧烈的变化;未利用地面积比例从 1980 年 83.31%增加到 2018 年的 84.76%,增加了 1.45 个百分点(表 2)。

表 2 野骆驼历史分布区范围内 1980、2000、2018 年各土地利用类型面积及占比

Table 2 Land use of wild camel historical distribution range in 1980, 2000, and 2018

年份 Year	耕地面积 (占比) Farmland area/km ² (Percentage/%)	林地面积 (占比) Forest area/km ² (Percentage/%)	草地面积 (占比) Grassland area/km ² (Percentage/%)	水域面积 (占比) Water area/km ² (Percentage/%)	建设用地面积 (占比) Construction land area/km ² (Percentage/%)	未利用土地 面积(占比) Unused land area/km ² (Percentage/%)
1980	3333(0.47)	6299(0.88)	106492(14.96)	2336(0.33)	343(0.05)	593093(83.31)
2000	3457(0.49)	6376(0.90)	105536(14.82)	2505(0.35)	474(0.07)	593541(83.38)
2018	6335(0.89)	6531(0.92)	91648(12.85)	2531(0.35)	1625(0.23)	604427(84.76)

近 40 年来,研究区的林地和水域面积一直保持比较稳定的比例,因此表 3 仅统计了耕地、建设用地、草地

和未利用土地的面积变化和动态度。从面积变化趋势来看,耕地、建设用地和未利用土地均为持续增加趋势,草地面积为持续减少趋势。从动态度来看,2000—2018 年间,耕地面积的年增长速度是 1980—2000 年的 24 倍,建设用地面积的增长速度是 1980—2000 年的 7 倍;同时期,草地面积年减少速度是 1980—2000 年的 18 倍;未利用土地年增长速度是 1980—2000 年的 27 倍。

表 3 野骆驼历史分布区范围 1980—2018 年土地利用类型面积变化及动态度
Table 3 Land use change and dynamic index of wild camel historical distribution range from 1980 to 2018

时段 Period	耕地变化 (动态度) Farmland change/km ² (Dynamic index/%)	建设用地变化 (动态度) Construction land change/km ² (Dynamic index/%)	草地变化 (动态度) Grassland change/km ² (Dynamic index/%)	未利用土地变化 (动态度) Unused land change/km ² (Dynamic index/%)
1980—2000	124(0.19)	131(1.91)	-956(-0.04)	448(0.0038)
2000—2018	2878(4.63)	1151(13.49)	-13888(-0.73)	10886(0.1019)
1980—2018	3002(2.37)	1282(9.84)	-14844(-0.37)	11334(0.0503)

2.2 道路影响

2.2.1 道路密度和道路影响域

野骆驼历史分布区范围内道路(含铁路)长度累计为 33830km。总体上,区域内道路密度为 0.0410km/km²。其中,西部分布区道路密度最低,为 0.0190km/km²,东部分布区道路密度次之,为 0.0377km/km²,中部分布区道路密度最高,为 0.0570km/km²。现存分布区内,野骆驼三个种群栖息地范围内的道路密度均维持在较低水平(表 4)。

按照不同等级道路影响域宽度进行缓冲区分析后,总体上,野骆驼栖息地受道路影响面积为 16650km²,占整个野骆驼历史分布区面积的 2.02%。其中,西部分布区受道路影响面积最低,为 1152km²,中部分布区受道路影响面积次之,为 6076km²,东部分布区受道路影响面积最大,为 9393km²。由于野骆驼现存分布区内道路长度有限,因此其道路影响域面积与历史分布区范围内相比,维持在较低水平(表 4)。

表 4 野骆驼历史分布区和现存分布区道路密度和道路影响域
Table 4 Road density and road-effect zone of wild camel historical distribution range and current distribution range

区域 Range		区域面积 Range area/km ²	道路长度 Road length/km	道路密度 Road density/ (km/km ²)	影响域面积 Road-effect zone area/ km ²	影响域面积占比 Percentage of road-effect zone area/%
历史分布区 Historical distribution range	西部历史分布区	182276	3460	0.0190	1152	0.6320
	中部历史分布区	317324	18086	0.0570	6076	1.9148
	东部历史分布区	325876	12284	0.0377	9393	2.8824
	总体	825476	33830	0.0410	16621	2.0135
现存分布区 Current distribution range	塔克拉玛干沙漠分布区	16602	227	0.0137	53.47	0.3221
	库姆塔格沙漠分布区	124032	1481	0.0119	703.68	0.5673
	中蒙边境分布区	61510	1018	0.0166	237.35	0.3859
	总体	202144	2726	0.0135	994.5	0.4920

2.3 景观格局

利用道路数据对研究区进行切割,去除面积 1km²的细小斑块后,研究区斑块数为 914 个,研究区景观格局见图 2。西部分布区斑块数最少,平均斑块面积最大,表明其破碎化程度比中部和东部分布区要低;西部分布区最大斑块面积占整个西部分布区面积比例为 52%,要高于中部和东部分布区。中部分布区则保有当前所有栖息地斑块中面积最大的斑块,达到 104163km²,东部分布区最大斑块面积为 70147km²,在三个分布区中相比,面积最小(表 5)。野骆驼的塔克拉玛干沙漠种群所在的西部分布区被横贯塔克拉玛干沙漠的沙漠公路

分割后,存在两个大面积斑块,W1 和 W2,面积分别为 67870km²,94098km²,两个斑块面积占到栖息地面积的 89%;库姆塔格沙漠种群所在的中部分布区被哈罗公路和哈罗铁路分割后,也分为两个大面积斑块 M1 和 M2,面积分别为 104163km²,94525km²,两个斑块面积占到栖息地面积的 63%;中蒙边境种群所在的东部分布区,最大斑块 E1 面积为 70147km²。野骆驼的现存分布区,包括塔克拉玛干沙漠分布区、库姆塔格沙漠分布区以及中蒙边境分布区的范围均基本位于以上大面积斑块中(图 2)。

表 5 野骆驼历史分布区景观破碎化特征
Table 5 Fragmentation characteristic of wild camel historical distribution range

区域 Range	斑块数量 Number of patches	平均斑块大小 Mean patch size/km ²	最大斑块面积 Area of largest patch/km ²	最大斑块面积占景观面积比例 Largest patch index/%	最小生境面积斑块数量 Number of minimum habitat area patch
西部历史分布区 Western range	78	2336	94098	52	3
中部历史分布区 Middle range	373	851	104163	33	7
东部历史分布区 Eastern range	463	704	70147	22	8
总计 Total	914	903	—	—	18

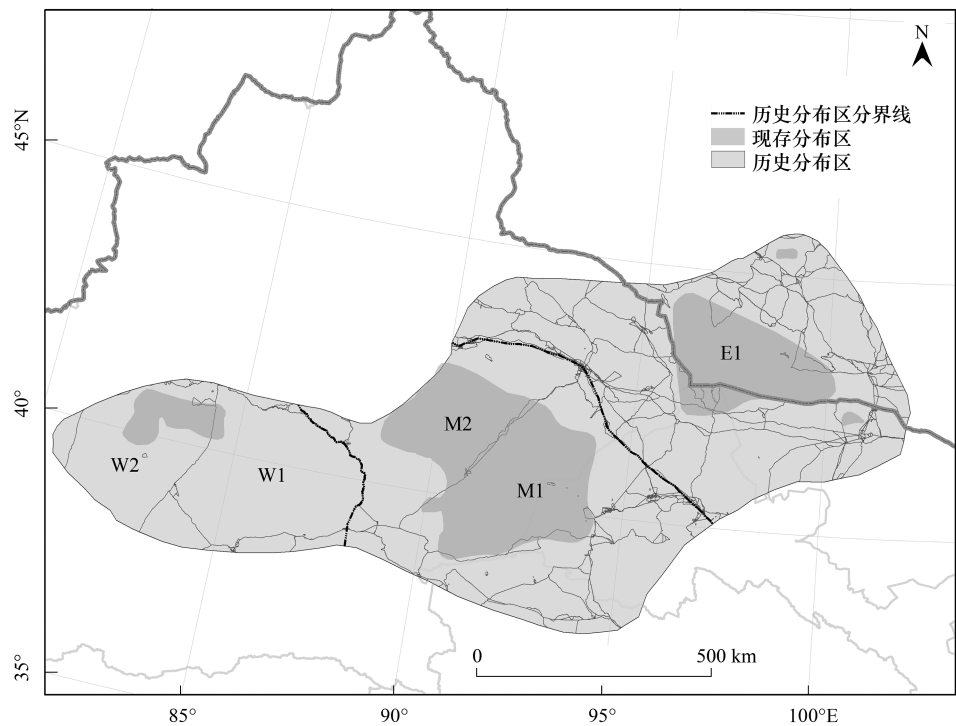


图 2 研究区叠加道路后景观破碎化格局
Fig.2 Landscape fragmentation of study area overlapped with roads

W1:西部分布区最大面积斑块;W2:西部分布区第二大面积斑块;M1:中部分布区最大面积斑块;M2:中部分布区第二大面积斑块;E1:东部分布区最大面积斑块

3 讨论

3.1 土地利用变化影响

研究区受亚洲中部干旱区生态地理格局的影响^[24],长期以来,在整个西北野骆驼的历史分布区范围内,人类社会经济发展水平和活动规模受限,土地利用格局变化不大。通过对近 40 年来野骆驼栖息地各土地利

用类型面积的统计,野骆驼栖息地的未利用土地比例始终保持在 80% 以上,草地的比例在 10% 以上,二者总和的比例始终在 95% 以上。野骆驼栖息地以未利用土地和草地为主体的格局保持不变,尤其是沙地、戈壁为主的未利用土地始终占比很大。进入 21 世纪后的近 20 年与 20 世纪的最后 20 年相比,耕地面积和建设用地的增长速度明显,这与 2000 年我国西部大开发开始的时间节点相一致;同时期,草地面积持续减少,未利用土地年增长速度明显,在所有地类中居于首位,表明整个野骆驼历史分布区荒漠化的趋势没有得到扭转,问题仍然严峻。对于野骆驼这一荒漠半荒漠环境适应性强的物种来说,近 40 年的土地利用变化对其种群的繁衍和存续影响不大。

3.2 道路影响及破碎化

社会经济的发展带来了公路和铁路等线性基础设施的跨越式发展,全国公路总里程从新中国成立(1949 年)的 8.07 万 km,发展到改革开放初期(1980 年)的 88.83 万 km,再到 2001 年底的 169.8 万 km,截止到 2019 年末,已达到 501.25 万 km^[25-28],近 40 年,全国公路里程增长 412.42 万 km。总体而言,研究区内道路密度为 0.04km/km²,相比全国 0.52km/km² 的平均公路密度^[28]和 0.6km/km² 的大型脊椎动物自然种群密度与道路密度关系阈值^[29],处于一个较低的水平,但道路及其影响域造成的栖息地分割和阻隔影响了整个野骆驼历史分布区。道路密度会影响动物的栖息地选择^[5,30],野骆驼对人类活动极其敏感,不断延伸的道路带来的干扰必然造成野骆驼对道路及周边区域的回避,道路的障碍作用极其明显,表现在当前野骆驼分布范围呈 3 个孤岛的格局与道路隔离形成的景观格局是一致的。从道路密度和影响域面积占比来看,西部分布区受道路影响最小,原因在于该区域主要为塔克拉玛干沙漠,沙漠为主的地貌以及高大的沙丘导致在该区域道路修筑困难。中部分布区道路密度最大,而东部分布区影响域面积比例最大。通过叠加道路和野骆驼现存分布范围,塔克拉玛干沙漠分布区和库姆塔格沙漠分布区仅被一条道路分割,中蒙边境分布区被国境线分割,三个现存分布区景观格局均维持了较低的破碎度。所有三个当前野骆驼种群分布区道路密度水平和道路影响域面积占比均较所在历史分布区范围道路密度和道路影响域面积低,表明现有野骆驼分布区人为干扰程度要低于整个研究区域。

从整体景观格局来看,斑块数量和平均斑块面积两个指标表明西部分布区破碎化程度比中部和东部分布区要低,最大斑块面积指数表明该区域具备较大野骆驼种群的生存条件,但目前的塔克拉玛干沙漠野骆驼种群调查结果认为该区域种群仅有 50 峰左右。19 世纪中叶前后,野骆驼在和田河以东的塔克拉玛干沙漠中分布面积较大^[31]。1980 年代以来,野骆驼分布区所在的塔克拉玛干沙漠东部地区开始大规模的油气开采。兰新等人 1991—1992 年的科考发现,石油勘探和开采地点附近也有野骆驼活动痕迹,证明了克里雅河下游地区野骆驼分布仍然存在^[32]。1995 到 1996 年,Hare 等在塔克拉玛干进行的科考估计该地区大概有 50—80 峰野骆驼^[10]。但近些年这些地区受放牧、石油开采等影响,野骆驼的分布必定会受到人为干扰的影响,这可能是塔克拉玛干沙漠野骆驼种群减少的主要原因。同时,也需要继续通过大量的野外调查来对该区域野骆驼种群进行核实。中部分布区尽管破碎化较为严重,尤其是哈罗铁路和哈罗公路的阻隔^[33],但占到中部栖息地面积 63% 的两个大面积斑块的存在,使得该区域的野骆驼种群状况较为理想,该区域野骆驼种群数量较为稳定,最少在 400 峰以上。

西部分布区和中部分布区受道路阻隔影响较小,两个栖息地间野骆驼种群的交流仅需跨越单条线性障碍,且两个区域间野骆驼现存分布斑块直接相连,即西部栖息地的 W1 和 W2 斑块与中部栖息地的 M1 和 M2 斑块。这四个斑块属于所在栖息地的主体,且受道路影响较小,从单个斑块来讲,基本属于无路区,这对于保持野骆驼栖息地景观的连通和维持,尤其是较大数量的野骆驼种群的大型适宜生境非常重要^[5],这与野骆驼现存分布区范围也是一致的。未来通过实施科学的栖息地连通和廊道建设规划,将极有可能实现两个孤立种群的交流连通。同时,在未来的道路规划建设和布局中,要考虑道路规划和建设对野骆驼最小生境面积的影响,在现有景观格局的基础上,避免形成新的分割。并且要避免单纯只考虑孤立的种群分布和所在栖息地,要将影响评估尺度放大到本研究区的尺度上,即在整个野骆驼的栖息地的角度考虑道路的阻隔作用。

中部和东部分布区受地理上河西走廊和陆上丝绸之路的分割^[34],该区域是兰新铁路、京新高速等多条铁路和公路进入新疆的必经之路,目前已形成密布的路网,对于中部和东部分布区野骆驼来说,连通几乎不可实现。东部分布区中,蒙古一侧斑块数量为 114 个,而中国一侧斑块数量达到 349 个,占到了整个东部分布区的四分之三。该区域,中国一侧的栖息地破碎化程度远高于蒙古一侧,这也是作者近些年的调查,很难在中国边境一侧调查到野骆驼的原因。目前唯一的一块大面积生境 E1,即位于蒙古国的大戈壁保护区 A 区,未来蒙古一侧的野骆驼即使能跨越边境迁移到中国一侧,结合当前的破碎化格局,中国一侧边境地区也已不具备适宜野骆驼定居的最小生境面积。基于该区域的景观格局现状,不认为在该区域野骆驼能回归中国甚至连通中部分布区。建议将更多的保护资源和努力投入到西部和中部分布区种群的维持和连通。

通过对近 40 年野骆驼历史分布区土地利用和道路的定量分析,土地利用变化并不足以导致野骆驼现存的分布格局,影响野骆驼栖息地丧失和破碎化的主要驱动因素是道路,以道路为主的线性基础设施造成了野骆驼栖息地的隔离,并形成了野骆驼的现存分布格局。维持野骆驼现存分布范围内的无路区格局对野骆驼种群的维持至关重要,结合野骆驼当前的分布和道路格局,则可为野骆驼种群未来的交流和连通提供景观层面的规划方向。

参考文献 (References):

- [1] Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals. *Camelus bactrianus*. [2021-02-20]. <https://www.cms.int/en/species/camelus-bactrianus>.
- [2] Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals. Guidelines for addressing the impact of linear infrastructure on large migratory mammals in central Asia. [2021-02-20]. <https://www.cms.int/en/publication/guidelines-addressing-impact-linear-infrastructure-large-migratory-mammals-central-asia>.
- [3] Schaller G B. Wildlife of the Tibetan Steppe. Chicago, Illinois: University of Chicago Press, 1998.
- [4] 交通运输部. 深入实施西部大开发战略公路水路交通运输发展规划纲要(2011-2020 年). (2012-11-25). <https://gg.swjtu.edu.cn/info/1286/5158.htm>.
- [5] 李月辉, 胡远满, 李秀珍, 肖笃宁. 道路生态研究进展. 应用生态学报, 2003, 14(3): 447-452.
- [6] 孔亚平, 王云, 张峰. 道路建设对野生动物的影响域研究进展. 四川动物, 2011, 30(6): 986-991.
- [7] Tulgat R, Schaller G B. Status and distribution of wild Bactrian camels *Camelus bactrianus ferus*. Biological Conservation, 1992, 62(1): 11-19.
- [8] Hare J. *Camelus ferus*. The IUCN red list of threatened species 2008; e.T63543A12689285. [2021-02-04]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T63543A12689285.en>.
- [9] 袁国映, 张宇, 袁磊. 罗布泊自然保护区: 新疆罗布泊野骆驼国家级自然保护区综合科学考察报告. 北京: 科学出版社, 2012.
- [10] Hare J. The wild Bactrian camel *Camelus bactrianus ferus* in China; the need for urgent action. Oryx, 1997, 31(1): 45-48.
- [11] Wild Camel Protection Foundation. 2011 expedition to the taklamakan desert and the desert of lop. [2013-01-02]. <https://www.wildcamels.com/2011-expedition-to-the-taklamakan-desert-and-the-desert-of-lop/>.
- [12] 程芸, 袁磊, 沙拉, 谢正君, 萨根古丽, 高丽君, 卡米拉, 王建林. 罗布泊野骆驼自然保护区野骆驼种群数量研究. 新疆环境保护, 2018, 40(2): 14-20.
- [13] 袁磊, 马浩, 程芸, 杨欢, 萨根古丽, Yadamsuren A, 朱海涌, 马友青, 王建林, 张烁, 马杏叶, 刁庆安, 刘少创. 罗布泊野骆驼的家域特征及其意义. 生物多样性, 2015, 23(3): 314-320.
- [14] 薛亚东, 李迪强, 李佳. 基于卫星追踪定位技术的库姆塔格沙漠野骆驼生境利用和迁移规律. 林业科学, 2020, 56(10): 192-198.
- [15] Yadamsuren A, Daria O, Liu S C. The seasonal distribution of wild camels (*Camelus ferus*) in relation to changes of the environmental conditions in Mongolia. Open Journal of Ecology, 2019, 9(8): 293-314.
- [16] Kaczensky P, Adiya Y, von Wehrden H, Mijiddorj B, Walzer C, G  thlin D, Enkhbileg D, Reading R P. Space and habitat use by wild Bactrian camels in the Transaltai Gobi of southern Mongolia. Biological Conservation, 2014, 169: 311-318.
- [17] Reading R P, Mix H, Lhagvasuren B, Blumer E S. Status of wild Bactrian camels and other large ungulates in south-western Mongolia. Oryx, 1999, 33(3): 247-255.
- [18] Liu J Y, Liu M L, Deng X Z, Zhuang D F, Zhang Z X, Luo D. The land use and land cover change database and its relative studies in China. Journal of Geographical Sciences, 2002, 12(3): 275-282.
- [19] 徐新良, 刘纪远, 张增祥, 周万村, 张树文, 李仁东, 颜长珍, 吴世新, 史学正. 中国 5 年间隔陆地生态系统空间分布数据集(1990-

- 2010) 内容与研发. 全球变化数据学报, 2017, 1(1): 52-59.
- [20] 李双成, 许月卿, 周巧富, 王磊. 中国道路网与生态系统破碎化关系统计分析. 地理科学进展, 2004, 23(5): 78-85.
- [21] 朱自娟, 张怀清, 凌成星. 库姆塔格沙漠及周边地表覆被变化监测. 水土保持通报, 2015, 35(2): 131-135.
- [22] Jackson R D, Idso S B, Otterman J. Surface albedo and desertification. Science, 1975, 189(4207): 1012-1015.
- [23] 汪自书, 曾辉, 魏建兵. 道路生态学中的景观生态问题. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1665-1670.
- [24] 陈曦, 姜逢清, 王亚俊, 李耀明, 胡汝骥. 亚洲中部干旱区生态地理格局研究. 干旱区研究, 2013, 30(3): 385-390.
- [25] 王展意. 亲历交通共和国 路畅业兴六十年——中国公路的发展历程. 交通建设与管理, 2009, (7): 47-49.
- [26] 马建, 冯镇, 邱军领, 陈一馨, 李东武, 丛卓红, 丁龙亭, 王刚强, 陈刚. 改革开放 40 年中国公路交通行业技术变迁及启示. 长安大学学报: 社会科学版, 2018, 20(6): 38-67.
- [27] 中华人民共和国交通运输部. 2001 年公路水路交通行业发展统计公报. [2021-02-20]. http://www.mot.gov.cn/fenxigongbao/hangyegongbao/201510/t20151013_1894746.html.
- [28] 中华人民共和国交通运输部. 2019 年交通运输行业发展统计公报. [2021-02-20]. http://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202006/t20200630_3321335.html.
- [29] Forman R T T. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [30] 丁宏, 金永焕, 崔建国, 赵林森, 朴正吉. 道路的生态学影响域范围研究进展. 浙江林学院学报, 2008, 25(6): 810-816.
- [31] 袁国映, 张莉, 袁磊. 2000 年的世界新物种——野双峰驼. 乌鲁木齐: 新疆青少年出版社, 2001.
- [32] 兰新, 谷景和, 阿布拉米提, 周嘉楠. 塔克拉玛干沙漠野生双峰驼的生存现状. 干旱区研究, 1998, 15(2): 35-39.
- [33] 寇明旭. 哈密-罗布泊铁路对野骆驼迁徙阻隔的影响. 铁路节能环保与安全卫生, 2013, 3(3): 116-118.
- [34] 唐尚书, 郑炳林. 近二十年来罗布泊地区生态环境研究综述. 生态学报, 2019, 39(14): 5157-5165.