



草原围栏对普氏原羚行为和栖息地面积的影响

游章强^{①②③}, 蒋志刚^{①*}, 李春旺^①, MALLON David

① 中国科学院动物研究所动物生态与保护生物学重点实验室, 北京 100101;

② 中国科学院大学, 北京 100049;

③ 绵阳师范学院, 绵阳 621000;

④ Antelope Specialist Group, SSC, IUCN/Dept of Biology, Chemistry and Health Science, Manchester Metropolitan University, Manchester M1 5GD, UK

* 联系人, E-mail: jiangzg@ioz.ac.cn

2012-11-09 收稿; 2013-02-25 接受

国家自然科学基金(31070469, 31070348)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-EW-Z-4)、科技部国家科技基础性工作专项(2013FY110300)和惠特莱自然基金会资助

摘要 在欧亚草原区, 建设草原围栏将草原围成家畜放牧场的趋势越来越明显, 然而草原围栏对野生动物的影响却鲜为人知. 仅分布在青藏高原东部青海湖流域草原上的普氏原羚被国际自然保护联盟物种生存委员会列为濒危物种. 为了探索草原围栏对其行为和栖息地面积的影响, 笔者开展了相关研究. 结果表明: (1) 在建有围栏的区域内, 普氏原羚昼间活动距离平均值为 5081 ± 1187 m (湖东-克图分布区)和 4110 ± 912 m (元者分布区), 远远低于无围栏分布区中普氏原羚的昼间活动距离 7223 ± 546 m (快尔玛分布区); (2) 在建有围栏区域内的普氏原羚采食周期比无围栏生境中的短; (3) 普氏原羚沿围栏行走的频次比例达 81%; 跳越围栏的行为频次比例为 1.2%, 从围栏底部钻过围栏的频次为 17.8%; (4) 建立围栏后, 湖东-克图和元者分布区内普氏原羚的活动范围分别缩小为建立围栏前的 20%和 6%; (5) 围栏降低了普氏原羚逃离天敌的能力. 在元者和湖东-克图, 直接被围栏挂住死亡的比例为 5%, 或因围栏限制了逃避天敌的能力而导致普氏原羚被捕食的比例为 15%~20%. 由此可见, 草原围栏不利于普氏原羚生存, 建议加强草原生物多样性保护, 对家畜牧场进行综合管理.

关键词

普氏原羚
围栏网线
生境
家畜
牧场管理

铁路、高速公路和铁丝围栏等一些基础设施对野生动物生存有明显影响^[1-3]. 这种影响包括: 导致野生动物生境破碎化或生境面积减少、限制野生动物对食物和其他资源的利用、影响野生动物的迁徙、使得偷猎者更易猎杀野生动物、导致种群间的遗传隔离甚至物种灭绝等^[4,5]. 为了提高草原生产力, 牧民利用草原围栏将草原分割成小面积的放牧场. 作为农业现代化措施的一部分, 中国草原上修建了越来越多的草原围栏. 1990年以来, 我们的野外调查表明, 从东北满州里到西北新疆, 再到青藏高原, 草原围栏建

设正在快速发展. 到 2002 年, 中国大约 70%的草原上建设了围栏, 围栏草地面积占整个国土面积的比例已达到 18%^[6,7]. 许多研究已经发现, 草原围栏限制了野生有蹄类动物的活动和觅食^[8-12], 然而从生态学的角度来看, 中国这种大规模草原环境的改变还有许多鲜为人知的后果.

普氏原羚曾经分布于甘肃、内蒙古、宁夏和青海^[13-16]. 然而, 由于生境破碎和分布区域缩小, 现在普氏原羚仅存在于青藏高原东北边缘的青海湖流域. 除了最近在天峻县快尔玛乡发现了大约 100 只普氏

引用格式: 游章强, 蒋志刚, 李春旺, 等. 草原围栏对普氏原羚行为和栖息地面积的影响. 科学通报, 2013, 58: 1557-1564

英文版见: You Z Q, Jiang Z G, Li C W, et al. Impacts of grassland fence on the behavior and habitat area of the critically endangered Przewalski's gazelle around the Qinghai Lake. Chin Sci Bull, 2013, 58: 2262-2268, doi: 10.1007/s11434-013-5844-9

原羚外^[17], 之前有记录的普氏原羚数量不到 300 只^[14-16,18]. Liu 和 Jiang^[19]的研究发现, 1999 年在湖东-克图和元者 2 个分布区内, 普氏原羚的栖息地都因建立草原围栏而导致其生境破碎化, 围栏对普氏原羚采食有明显的不良影响^[19-21]. 最近, 更多的普氏原羚种群被发现, 然而, 这些新发现种群的生境也被围栏分割^[22]. You 等人^[23]还发现草原围栏影响了普氏原羚繁殖领域的形状和大小.

本研究的目的是探索普氏原羚对草原围栏的行为反应, 以及草原围栏对普氏原羚昼间活动距离、栖息地面积的影响. 本研究还记录了被围栏网线缠住而死亡的普氏原羚的数量和在围栏网线附近被狼捕食的普氏原羚数量. 最后, 提出了濒危物种普氏原羚的保护建议, 即建立普氏原羚自然保护区、改良草原围栏的设计, 从而在提高草原生产力的同时能统筹兼顾野生动物保护.

1 研究方法

(i) 研究区域. 在青海湖流域的湖东-克图、元者和快尔玛 3 个地点开展了野外调查(36°41'~37°55'N, 99°50'~100°56'E) (图 1). 湖东-克图地区的生境主要由草原、高山灌丛、高山草甸和起伏沙丘组成, 元者和快尔玛 2 个分布区的生境主要是草原和高山草甸. 1990 年以后, 湖东-克图和元者 2 个区域先后建成了草原围栏^[14], 而位于布哈河上游的快尔玛分布区至今还没有建草原围栏. 因此, 选择快尔玛作为对照研究区域. 在青海湖流域, 牧民主要以藏族和蒙古族为主, 他们至今过着游牧生活, 夏季赶着家畜到高海拔区域的夏季牧场放牧, 冬季回到海拔较低的山谷和湖泊岸边的冬季牧场. 2002~2005 年对湖东-克图、元者和快尔玛的普氏原羚进行了野外调查.

(ii) 研究种群. 在青海湖区域现幸存有 6 个单

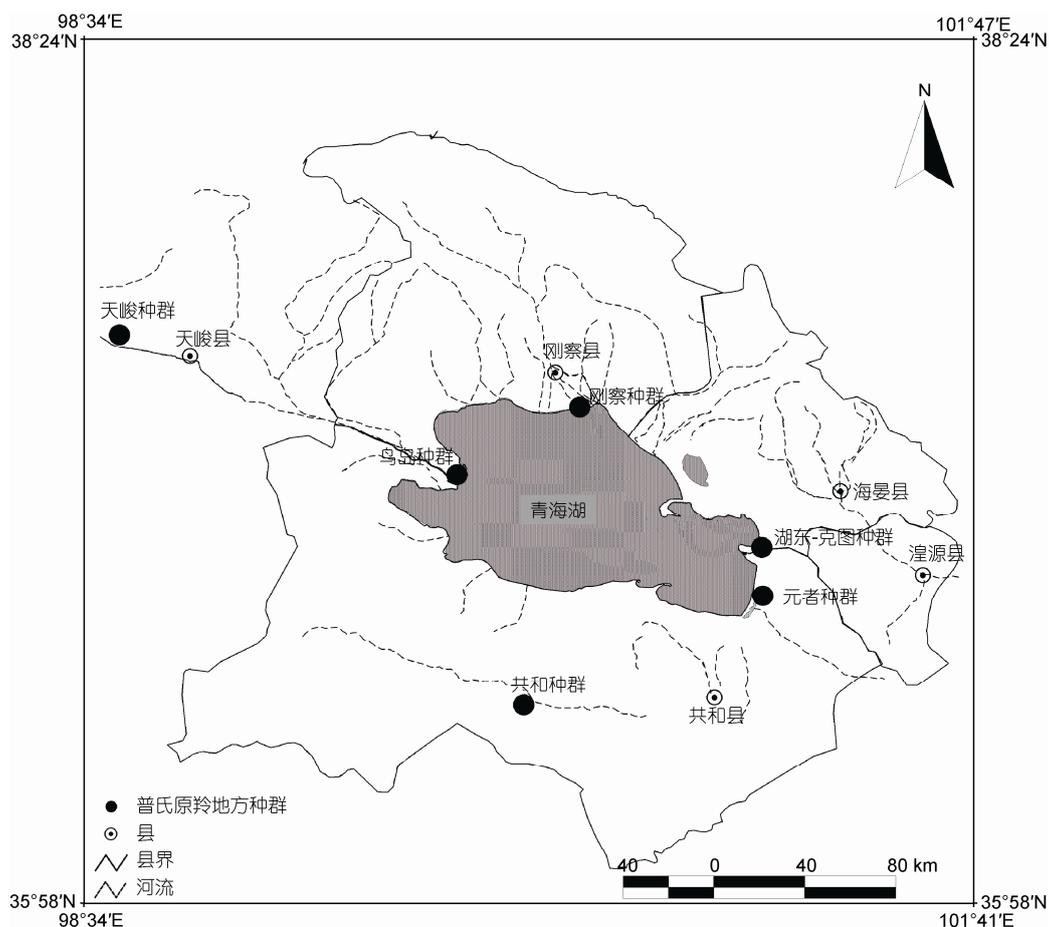


图 1 普氏原羚种群分布

包括共和种群、刚察种群、鸟岛种群、湖东-克图种群、元者种群和天峻种群, 其中后 3 个种群是本研究涉及对象

独的普氏原羚种群: 湖东-克图种群、元者种群、刚察种群、快尔玛种群、鸟岛种群和沙岛种群. 研究了湖东-克图种群、元者种群和快尔玛种群, 因为这 3 个种群的数量占普氏原羚现存种群数量的 60%. 湖东-克图种群数量约为 90 只, 除沙漠外, 其余生境均建有草原围栏; 元者种群规模约为 30 只, 其生境全部建设了草原围栏. 2004 年对快尔玛种群开展了研究, 与前 2 个种群不同, 该种群分布区内没有草原围栏. 通过走访当地藏族牧民, 调查了在 2004 年之前快尔玛普氏原羚的分布范围和种群规模, 调查结果表明, 2004 年该分布区普氏原羚种群规模约为 120 只.

(iii) 草原围栏网线、昼间活动距离和活动区域. 根据设计可以将草原围栏分成低围栏(设计高度为 1.2 m)和高围栏(设计高度为 1.5 m). 草原围栏投入使用一定年限后, 其高度会发生不同程度的变化. 为了测量围栏的实际平均高度, 在湖东-克图和元者分别测量了 20 道和 14 道围栏的高度. 每道围栏共测量 3 次, 每次测量间隔距离为 100 m, 将 3 个平均值作为相应的围栏高度.

为测量草原围栏的密度, 在野外调查中, 首先用 GPS (Garmin GPS 72 H)记录每条围栏的地理坐标. 然后利用 ArcView 3.2 将所有围栏的地理坐标输入研究区域的数字化地图, 并为每一条草原围栏创建一个线性对象(图 2); 同时, 利用 ArcView 3.2 的“测量工具”测量每两条线性对象之间的垂直距离, 将该距离作为相应两条相邻围栏的距离. 最后, 使用两条相邻的围栏线之间的平均距离作为相应研究点草原围栏线的密度.

由于禁止对普氏原羚进行无线电监测, 2002~2005 年利用手持 GPS 跟踪记录普氏原羚个体和群体的活动路线, 监测其昼间活动距离. 将个体相互之间有交流且对其他成员的行为做出回应的活动个体定义为群. 利用雄性原羚角的形状及喉部的斑点来区别单身成年个体. 因为野外很少观察到单身雌性个体和单独活动的未成年个体, 所以没有监测单身雌性原羚和羊羔的昼间活动距离^[21]. 同时, 还继续开展了本研究组自 1994 年以来对湖东-克图、元者等分布区普氏原羚的种群监测.

为测量普氏原羚昼间活动距离, 用 GPS 标记发现的个体和/或群体的活动痕迹, 然后, 对其活动路线进行跟踪标记. 跟踪标记自早上 7:00~8:00 开始, 直到观察对象消失或天黑为止. 为避免观察者对普

氏原羚活动造成影响, 在观察跟踪标记期间, 通常与观察对象保持 200 m 以上的距离. 在野外观测中, 在 200 m 以外距离观测时, 没有发现普氏原羚对观测者表现出明显的警戒. 分别在湖东-克图和元者共记跟踪标记了 30 和 35 条普氏原羚的活动路线, 在快尔玛共计跟踪标记了 10 条普氏原羚活动路线. 用 ArcView 3.2 将所有跟踪到的活动路线的地理坐标输入研究区域的数字化地图, 以单条活动路线为单位创建线性对象, 用 ArcView 3.2 的“测量工具”测量每条线性对象的长度, 并以此作为相应普氏原羚活动路线的距离, 将每个分布区域活动路线的平均值作为该区域普氏原羚的昼间活动距离.

将发现普氏原羚个体或活动痕迹的地方定义为普氏原羚的当前栖息地范围. 在每一个研究地点设置 2 条样带调查普氏原羚的栖息地面积和种群规模. 在湖东-克图分布区内, 普氏原羚白天主要活动于草原和沙丘过渡地带及附近的草原生境中, 因此, 在草原和沙丘过渡带设置一条样带, 在草原围栏区域内设置另一条样带. 在元者和快尔玛, 2 条样带均设置在普氏原羚白天出现频率较高的草原生境内(图 2). 11:00~13:00 和 17:00~19:00 是普氏原羚的活跃时期, 以约 1000 m/h 的速度步行调查, 使用 GPS (Garmin GPS 72 H)标记普氏原羚的踪迹. 使用 ArcView 3.2 把所有测量活动路线的地理坐标标注在数字化地图上并创建多边形对象, 利用 ArcView 3.2 的“测量工具”测量当前原羚的栖息地面积, 将面积最大的一个多边形对象对应的区域作为研究地点普氏原羚的当前活动区域.

为了测试在湖东-克图和元者的普氏原羚活动范围的变化, 比较了普尔热瓦斯基(Przewalski)描述的历史上这一物种在该区域的栖息地分布情况^[24]. 还采用了本研究组自 1994 年以来积累的关于普氏原羚种群规模和分布区域的监测数据^[14,25].

(iv) 采食周期和普氏原羚对草原围栏的行为反应. 如果一只普氏原羚连续采食行为中断 3 min 以上, 则认为其完成了一个采食周期. 在 2005 年春季和夏季的野外监测中, 分别记录了普氏原羚在草原围栏区和无围栏草原的采食周期. 以每 10 分钟为间隔, 对目标个体进行 10 min 连续行为观察取样记录^[21,23]. 在湖东-克图、元者和快尔玛 3 个分布区域的观察取样时间分别为 354, 368 和 121 h.

对湖东-克图种群取样主要在 2002, 2003 年夏季

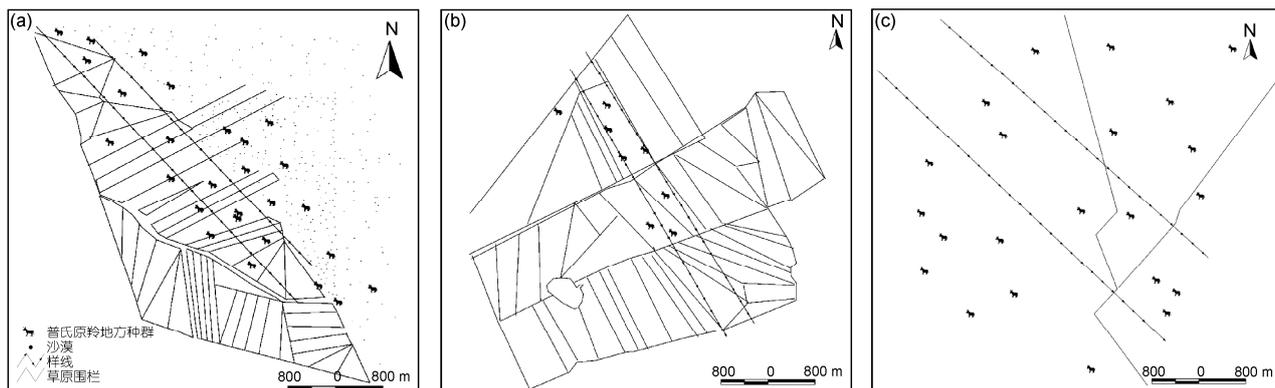


图2 普氏原羚分布区域草原围栏及调查样线(即图中带箭头直线)
(a) 湖东-克图区域; (b) 元者区域; (c) 天峻区域

和冬季进行, 对元者种群的行为取样主要在 2003 年冬季进行, 而对快尔玛种群的行为取样主要在 2004 年的夏季和冬季进行. 记录到普氏原羚对草原围栏的行为反应有 3 种, 即跨越围栏(JC)、钻过围栏(CT)和沿围栏行走(WA). 跨越围栏指普氏原羚个体以腾空跳跃的方式自围栏的一侧越过围栏顶端跳到围栏的另一侧. 钻过围栏是指普氏原羚个体以匍匐的姿势自围栏底部钻到围栏的另一侧. 沿围栏行走指普氏原羚个体沿围栏的一侧行走, 寻找可能越过或钻过围栏的地点.

(v) 个体死亡. 在野外调查期间, 记录了在围栏附近死亡的普氏原羚个体数量, 同时也记录了当普氏原羚试图跳越围栏时, 被围栏铁丝缠住而窒息死亡的个体数量. 这种死亡事件全年都可能发生. 家畜的冬季牧场与普氏原羚的栖息地完全重合, 而这时狼跟随家畜从夏季牧场回到冬季牧场. 冬季是普氏原羚发情交配期, 因此, 狼捕食造成的普氏原羚死亡事件主要发生在原羚发情交配的冬季. 根据狼的脚印和普氏原羚尸体上的咬痕确定原羚是否被狼捕食.

(vi) 数据分析. 由于数据不符合正态分布, 经过转换后仍不符合正态分布(单样本 Kolmogorov-

Smirnov 检验, $P < 0.05$), 采用了 Mann-Whitney U 检验分析了围栏高度对普氏原羚行为的影响, 分析了普氏原羚采食周期持续时间和昼间活动距离在不同围栏高度组间的差异. 用 Spearman 相关分析检验围栏高度与普氏原羚行为反应、普氏原羚昼间活动距离与草原围栏密度的相关关系. 将湖东-克图和元者 2 个分布区普氏原羚对围栏的反应行为合并进行分析. 检验结果中, $P < 0.05$ 则认为数据差异显著, 所有数据分析都采用 SPSS 13.0 完成.

2 结果

2.1 草原围栏

在湖东-克图地区和元者地区, 所有草原、高山灌丛和高山草甸都已建成围栏牧场, 但快尔玛地区还没建设围栏(图 2). 建成使用一段时间之后, 由于围栏顶部和底部的网线松散, 湖东-克图地区和元者地区部分围栏的实际高度已经低于其设计高度(表 1).

2.2 栖息地面积

目前, 普氏原羚在草原围栏区域的栖息地面积

表1 研究地点概况^{a)}

	围栏高度(m) (平均值±标准误)	围栏密度 (围栏线数量/km) (平均值±标准误)	草原围栏建 立时间(年)	建立草原围栏前 分布面积(hm ²)	目前分布面积 (hm ²)	种群规模(只) (平均值±标准误)	种群密度 (只/公顷)
湖东-克图	1.01 ± 0.09	30.9 ± 16.0	1995	75956.00	1591.20	93 ± 12	17.10
元者	1.06 ± 0.09	32.7 ± 7.0	1995	7963.33	477.80	34 ± 7	14.05
快尔玛					18955.00	120 ± 23	157.95

a) 湖东-克图和元者 2 个分布区 1995 年种群数据引自蒋志刚等人^[14]

小于在无围栏区域的栖息地面积. 无围栏区域(快尔玛)每只原羚栖息地面积约为 157.95 hm^2 , 大约是围栏区域(湖东-克图, 元者)普氏原羚栖息地面积的 10 倍(表 1 和图 3).

2.3 昼间活动距离

快尔玛分布区域内, 普氏原羚昼间活动距离比湖东-克图和元者 2 个分布区内的长, 在有草原围栏区域和没有草原围栏区域之间, 普氏原羚的昼间活动距离差异显著(Mann-Whitney 检验, $U=5.27$, $df=63$, $P=0.037$) (表 2).

2.4 对草原围栏的行为反应

围栏高度对普氏原羚跨越围栏和钻过围栏 2 种行为有显著影响(Mann-Whitney 检验, 对跨越围栏行为, $U=35.280$, $r=-0.800$, $P=0.041$; 对钻过围栏行为, $U=45.00$, $r=-0.710$, $P=0.035$), 但对沿围栏行走行为没有显著影响(Mann-Whitney 检验, $U=20.400$, $r=0.070$, $P=0.510$)(表 3).

2.5 围栏和狼捕食造成的死亡

研究期间, 有 4 只普氏原羚直接死于跨越草原围

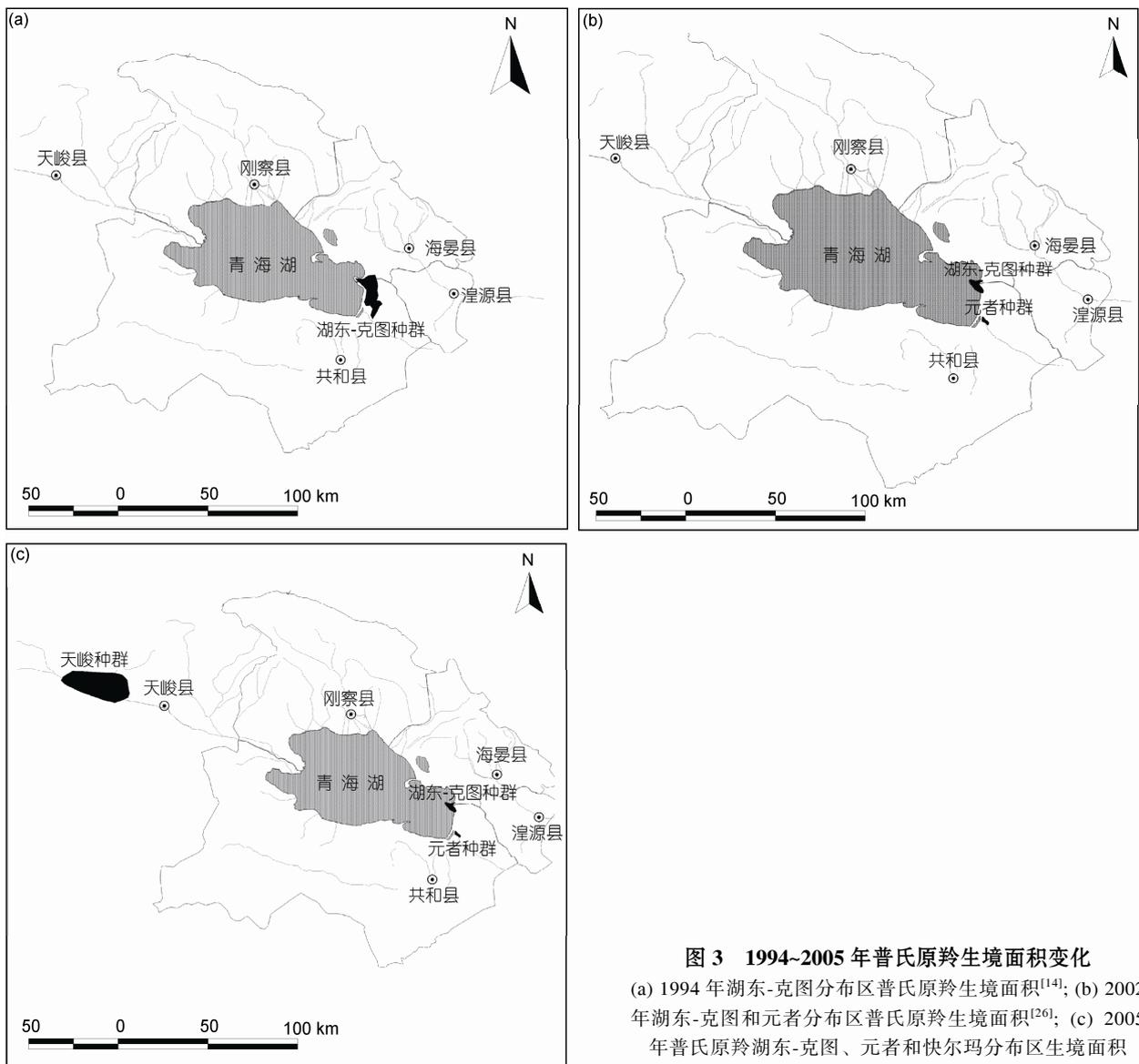


图 3 1994~2005 年普氏原羚生境面积变化 (a) 1994 年湖东-克图分布区普氏原羚生境面积^[14]; (b) 2002 年湖东-克图和元者分布区普氏原羚生境面积^[26]; (c) 2005 年普氏原羚湖东-克图、元者和快尔玛分布区生境面积

表2 草原围栏对普氏原羚的影响^{a)}

研究地点	草原设计类型	致死	昼间活动距离(m) (平均值±标准误, 测量活动路线数量)	残骸数量			尸体	致死比例	采食循环持续时间 (n/m) (平均值±标准误)
				第1个繁殖期	第2个繁殖期	第3个繁殖期			
有草原围栏	湖东-克图	高	5081±1187, 30	4	6	5	1	15%~20%	36±8
		低		+					
	元者	高	4110±912, 25	0	0	0	2	5%	
		低		+					
无草原围栏	快尔玛	-	7223±546, 10	0	0	0	0	51±17	
显著性			*						*

a) “+”影响明显;“-”没有明显的影响; *代表差异显著

表3 对不同高度草原围栏的行为的影响(平均值±标准误)^{a)}

	跨越围栏	从底部钻过围栏	沿围栏行走
高围栏	0.00±0.00	20.65±10.86	49.61±27.27
低围栏	1.44±2.93	0.07±0.26	44.81±25.61
百分比	1.2%	17.8%	81.0%
样本量(次)	n=168	n=168	n=168
Mann-Whitney U 检验	U=35.28*	U=45.00**	U=20.40
Spearman 相关	r=-0.80**	r=-0.71**	r=0.07, NS
P	0.041	0.035	0.510

a) *, 0.05 水平的差异或相关; **, 0.01 水平的差异或相关; NS, 不显著

栏而发生的事故, 其中 2 只为雄性, 1 只为怀孕的雌性成体. 此外, 在湖东-克图地区草原-沙丘交错区的草原围栏附近发现了 15 具被狼咬死的普氏原羚残骸, 死亡比例高达种群大小的 15%~20%. 在元者分布区, 因草原围栏导致普氏原羚死亡比例约为种群大小的 5%.

3 讨论

研究表明, 草原围栏对普氏原羚生存有明显的影响, 主要表现在以下 4 个方面: (1) 导致普氏原羚栖息地面积缩小; (2) 导致普氏原羚昼间活动距离减小; (3) 草原围栏高度对普氏原羚的行为反应有明显影响; (4) 直接或间接造成普氏原羚死亡, 增加了普氏原羚的死亡率.

铁路、公路和输油管道等都会导致野生动物生境破碎, 增加野生动物灭绝的风险^[1,2,27,28]. 研究表明, 草原围栏已经导致普氏原羚生境破碎^[14,20,28]. 即使在大型自然保护区内, 如羌塘国家级自然保护区, 草原围栏也同样威胁着野生有蹄类动物的生存并导致其伤亡^[29]. 20 世纪 90 年代初期, 草原围栏还没开始修建之前, 湖东-克图种群和元者种群原本是一个种群^[14], 后来围栏建立后, 将这个种群分割成了 2 个独

立的小种群, 即本研究中所指的湖东-克图种群和元者种群. 关于这 2 个小种群遗传学方面的研究表明, 建立草原围栏后, 湖东-克图和元者种间已经表现出明显的遗传差异^[26]. 野外观测发现, 湖东-克图地区的围栏栖息地, 普氏原羚昼间活动距离约为 5 km, 然而, 湖东-克图和元者两地相距约为 20 km. 实地跟踪调查期间, 从未发现任何普氏原羚个体从湖东-克图地区迁移到元者地区. 调查结果显示, 在 20 世纪 90 年代初期建立了草原围栏之后, 普氏原羚的栖息地面积明显减少. 关于普氏原羚遗传多样性的研究表明, 与自然景观相比, 人为景观对普氏原羚产生的种群隔离影响更为深远^[29,30,31]. 虽然草原围栏的确增加了牲畜生产力和减少了放牧工作量^[9,27,32], 但这样的措施可能导致野生有蹄类动物的灭绝. 有报道称, 叉角羚 (*Antilocapra americana*) 和鹅喉羚 (*Procapra gutturosa*) 的活动受到围栏和铁道线的影响^[10,28,33], 草原围栏同时还对家畜饲养具有一定的影响^[26,34]. 草原围栏不仅影响了普氏原羚的行为和活动范围, 同时还直接或间接地导致个体死亡. 而此前的研究就表明, 草原围栏对普氏原羚的活动范围有明显影响^[21]. 草原围栏对普氏原羚采食周期持续时间也有

明显影响。在湖东-克图和元者建有围栏的生境中,普氏原羚警戒行为频次高,甚至停止采食以跨过或绕过围栏线。

不同建设设施对野生动物有不同的影响。野生动物行为反应可以用于评估其受到的线性基础设施影响^[32,33,35,36]。昼间活动距离缩短和栖息地面积减小清楚地表明,草原围栏使这2个研究地点的普氏原羚生存受到威胁。普氏原羚对不同高度围栏的行为反应差异显著,说明草原围栏高度对普氏原羚具有显著的影响。草原围栏的高度是影响普氏原羚行为的关键因素。面对1.0 m以下的围栏时,普氏原羚表现出2种行为:即跳越围栏或从底部钻过围栏,但如果围栏线超过1.0 m,他们更倾向于沿着围栏走(WA),而不跳越围栏,这样的行为反应表明高度1.0 m以下的围栏比超过1.0 m的围栏对普氏原羚的影响小一些。

在湖东-克图和元者2个分布区内,草原围栏都直接造成了普氏原羚个体死亡。表明研究区域内草原围栏高度已经超过普氏原羚安全通过的最大高度,普氏原羚个体如果不穿越围栏,总在同一草原围栏内活动的话,被狼捕食的风险大。如果跳越高围栏,又可能被卡在围栏网线上。在青海湖地区,气候变化的影响大,如果不加强野生动物保护和草原牧场的综合管理,普氏原羚可能会灭绝^[37]。

4 保护措施

青藏高原上的大型野生草食动物种群数量不断减少,其原因之一是人类狩猎活动的影响,社会和经济也加快了大型野生草食动物数量下降的趋势^[38]。本研究结果表明,草原围栏对普氏原羚有着破坏性影响。普氏原羚正面临着栖息地破碎化、栖息地退化和丧失、围栏保育、家畜竞争和捕食者捕食等方面的威胁。普氏原羚种群的进一步增长受制于有限的栖息地和人与普氏原羚之间的冲突^[22]。本研究组还发现了草原围栏对蒙古野驴有同样的破坏性影响(未发表资料)。因此,草原野生动物管理应统一到牧场管理规划中,尤其是野生有蹄类动物,这些动物对生存空间需求相对较大。否则,又将面临一波中亚草原野生有蹄类动物的灭绝事件。在草原牧区应当推广可持续发展的草原生态系统管理计划,对放牧草地与野生动物栖息地实行综合管理。在对牧区草原发展和可持续利用的前提下,对野生动物保护方面建议:(1)建立保护区,并去除保护区内所有围栏;(2)以土质围墙代替铁丝网围栏,并将所有土质围墙的高度限制在1 m以下,以便于野生动物安全通过。这样,既不影响草原生产力,又能保护草原生态系统生物多样性。

致谢 感谢青海省野生动植物与自然保护区管理局、国家林业局野生动植物与自然保护区管理司给与的大力支持。感谢 *Current Zoology* 贾志云博士在本文修改中提出的宝贵建议。

参考文献

- Fahrig L, Merriam G. Conservation of fragmented populations. *Conserv Biol*, 1994, 8: 50-59
- Saunders D A, Hobbs R J, Margules R. Biological consequences of ecosystem fragmentation. A review. *Conserv Biol*, 1991, 5: 18-32
- Li C, Jiang Z, Feng Z, et al. Effects of highway traffic on diurnal activity of the critically endangered Przewalski's gazelle. *Wildlife Res*, 2009, 36: 379-385
- Forman R T T, Alexander L E. Roads and their major ecological effects. *Ann Rev Ecol and Sys*, 1998, 29: 207-231
- Milner-Gulland E J, Lhagvasuren B. Population dynamics of the Mongolian gazelle *Procapra gutturosa*, a historical analysis. *J Appl Ecol*, 1998, 35: 240-251
- 国家发展与改革委员会. 中国人口、资源与环境报告. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 74-77
- 国家环境保护局. 中国生态环境情况报告. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 12-14
- Newman J L. Effects of woven wire fence with cattleguards on a free-living antelope population. *Proc Antelope States Workshop*, 1966, 2: 6-8
- May M. Fencing for livestock management. *Proc Biennial Antelope States Workshop*, 1968, 3: 62-64
- Gross B D, Holeches J L, Hallford D, et al. Effectiveness of antelope pass structures in restriction of livestock. *J Range Manag*, 1983, 36: 22-24
- Dyer S J, O'Neill J P, Wasel S M, et al. Quantifying barrier effects of roads and seismic lines on movements of female woodland caribou in northeastern Alberta. *Can J Zool*, 2002, 80: 839-845

- 12 Poole D W, Western G, McKillop I G. The effects of fence voltage and the type of conducting wire on the efficacy of an electric fence to exclude badgers (*Meles meles*). *Crop Prot*, 2004, 23: 27–33
- 13 Zhang R, Wang Z. Report on Mammals in Qinghai and Gansu Province. Beijing: Science Press, 1964
- 14 蒋志刚, 冯祚建, 王祖望, 等. 普氏原羚的历史分布与现状. *兽类学报*, 1995, 15: 241–245
- 15 Jiang Z, Li D, Wang W. Population declines of Przewalski's gazelle around Qinghai Lake, China. *Oryx*, 2000, 34: 129–135
- 16 Hu J, Jiang Z. Predicting the potential distribution of the endangered Przewalski's gazelle. *J Zool (London)*, 2010, 28: 54–63
- 17 李忠秋, 蒋志刚. 青海布哈河上游地区同域分布的普氏原羚与藏原羚草青期的集群比较. *动物学研究*, 2006, 27: 396–402
- 18 Jiang Z, Li D, Peng J, et al. Structure, elasticity and diversity of animal behaviour. *Biodivers Sci*, 2001, 9: 265–274
- 19 Liu B, Jiang Z. Diet composition of wolf in the Qinghai Lake region in northeast Tibetan Plateau. *Acta Theriol*, 2002, 48: 25–263
- 20 Li D, Jiang Z, Wang W. Impacts of human activities on the distribution of the critically endangered Przewalski's gazelle. *Acta Ecol Sin*, 1999, 19: 890–895
- 21 游章强, 蒋志刚. 普氏原羚的求偶交配行为. *动物学报*, 2005, 51: 187–194
- 22 Li C, Jiang Z, Ping X, et al. Current status and conservation of Przewalski's gazelle *Procapra przewalskii*. *Oryx*, 2012, 46: 145–153
- 23 You Z, Jiang Z, Li C. Location of rut stands vs. mating opportunities in Przewalski's gazelle: A field test of the "Resource-based hypothesis" and "Female traffic version of the hotspot hypothesis". *Curr Zool*, 2011, 57: 701–708
- 24 Prejevalsky [Przewalski] N. Mongolia, the Tangut Country, and the Solitudes of Northern Tibet. London, Sampson, Low, Marston, Searle, and Rivington, 1876
- 25 Li D, Jiang Z. Population viability analysis for the Przewalski's gazelle (*Procapra przewalskii*). *Russ J Ecol*, 2001, 33: 115–120
- 26 Lei R, Jiang Z. Phylogeography and genetic diversity of the critically endangered Przewalski's gazelle. *Anim Conserv*, 2003, 6: 361–367
- 27 Schroeder M A, Robb L A. Fidelity of greater sage-grouse *Centrocercus urophasianus* to breeding areas in a fragmented landscape. *Wildlife Biol*, 2003, 9: 291–299
- 28 Takehiko Y I, Naoko M, Badamjav L, et al. Preliminary evidence of a barrier effect of a railroad on the migration of Mongolian gazelles. *Conserv Biol*, 2005, 19: 945–948
- 29 Fox J L, Dhondup K, Dorji T. Tibetan antelope *Pantholops hodgsonii* conservation and new rangeland management policies in the western Chang Tang Nature Reserve, Tibet: Is fencing creating an impasse? *Oryx*, 2009, 43: 183–190
- 30 Yang J, Jiang Z. Genetic diversity, population genetic structure and demographic history of Przewalski's gazelle (*Procapra przewalskii*): Implications for conservation. *Conserv Genet*, 2011, 12: 1457–1468
- 31 Yang J, Jiang Z, Zeng Y, et al. Effect of anthropogenic landscape features on population genetic differentiation of Przewalski's gazelle: Main role of human settlement. *PLoS One*, 2011, 6: e20144
- 32 Goddard P J, Summers R W, Macdonald A J. Behavioral responses of red deer to fences of five different designs. *Appl Anim Behav Sci*, 2001, 73: 289–298
- 33 Ito T Y, Miura N, Lhagvasuren B, et al. Preliminary evidence of a barrier effect of a railroad on the migration of Mongolian gazelles. *Conserv Biol*, 2005, 19: 945–948
- 34 Wang S, Li Y, Wang Y. Relationship between foraging areas of sheep (whether) and spatial heterogeneity of grassland landscape. *Acta Ecol Sin*, 1999, 19: 25–30
- 35 Hodgetts B V, Waas J R, Matthews L R. The effects of visual and auditory disturbance on the behavior of red deer (*Cervus elaphus*) at pasture with and without shelter. *Appl Anim Behav Sci*, 1998, 55: 337–351
- 36 Baines D, Andrew M. Marking of deer fences to reduce frequency of collisions by woodland grouse. *Biol Conserv*, 2003, 110: 169–176
- 37 Hu J, Jiang Z. Climate change hastens the conservation urgency of an endangered ungulate. *PLoS One*, 2011, 6: e22873
- 38 Mallon D P, Jiang Z. Grazers on the plains: Challenges and prospects for large herbivores in Central Asia. *J Appl Ecol*, 2009, 46: 516–519