

DOI: 10.5846/stxb201904260862

袁智文, 徐爱春, 俞平新, 郭瑞, 李春林. 浙江清凉峰国家级自然保护区华南梅花鹿栖息地适宜性评价. 生态学报, 2020, 40(18): 6672-6677.

Yuan Z W, Xu A C, Yu P X, Guo R, Li C L. Habitat suitability assessment for Sika Deer in Qingliangfeng National Nature Reserve, Zhejiang Province. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(18): 6672-6677.

浙江清凉峰国家级自然保护区华南梅花鹿栖息地适宜性评价

袁智文¹, 徐爱春^{2,*}, 俞平新³, 郭 瑞³, 李春林¹

1 安徽大学资源与环境工程学院, 合肥 230601

2 中国计量大学生命科学学院, 杭州 310018

3 浙江清凉峰国家级自然保护区, 杭州 311321

摘要: 理解环境因子对物种空间分布的影响, 评价栖息地适宜性现状并预测潜在分布区, 对野生动物的管理和保护具有重要意义。华南梅花鹿 (*Cervus pseudaxis*) 属国家 I 级重点保护野生动物, 现仅分布于安徽、浙江、江西等狭小片区内。浙江清凉峰自然保护区千顷塘区域是华南梅花鹿的重要分布区, 但其面积较小, 严重限制了华南梅花鹿的种群发展, 亟需对千顷塘及周边区域的栖息地质量进行评价, 为华南梅花鹿的保护和野外放归提供科学依据。利用红外相机监测千顷塘区域华南梅花鹿的分布, 结合遥感等技术手段获得地形、植被、水源以及人为干扰等 8 种环境因子, 利用 MaxEnt 构建华南梅花鹿栖息地适宜性模型, 对以千顷塘为中心 50 km×50 km 的范围进行栖息地适宜性评价。研究结果表明, 华南梅花鹿倾向于选择海拔 1050—1240 m 范围内, 距道路 100—900 m 和距人口聚居区 3200—3800 m 的相对平缓地带。千顷塘区域华南梅花鹿栖息地保护较好, 适宜栖息地面积为 2224 hm², 占该区域 39.1%。千顷塘周边适宜性较高的区域主要为位于其西南部约 10 km 的山区, 该区域为华南梅花鹿提供了 3253 hm² 的潜在适宜栖息地。建议降低保护区千顷塘区域内的人为干扰, 并在其西南部山区尝试开展圈养种群的野外放归工作, 以促进其种群发展。

关键词: 华南梅花鹿; MaxEnt 模型; 栖息地适宜性评价

Habitat suitability assessment for Sika Deer in Qingliangfeng National Nature Reserve, Zhejiang Province

YUAN Zhiwen¹, XU Aichun^{2,*}, YU Pingxin³, GUO Rui³, LI Chunlin¹

1 School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China

2 College of Life Science, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China

3 Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve, Hangzhou 311321, China

Abstract: In order to efficiently manage and conserve wildlife, it is important to understand the impact of environmental factors on their spatial distribution, assess the habitat suitability, and predict potential distribution areas for wildlife. South China Sika Deer (*Cervus pseudaxis*), listed as a Category I Key National Protected Wild Animal Species, is only distributed in small areas in Anhui, Zhejiang, and Jiangxi Province. The Qianqingtang Area of the Qingliangfeng Nature Reserve in Zhejiang is one of the important distribution areas of the species, but the small area severely restricts its population development. Therefore, it is urgent to evaluate the habitat quality of the Qianqingtang Area and the surrounding areas to provide important implications for the species conservation and wild release. In this study, infrared cameras were used to

基金项目: 浙江省珍稀濒危野生动植物抢救保护工程(2017—2020年)

收稿日期: 2019-04-26; 网络出版日期: 2020-07-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: springlover@cjlu.edu.cn

monitor occurrences of Sika Deer in the Qianqingtang Area, and field surveys and remote sensing techniques were used to obtain eight environmental factors quantifying the terrain, vegetation, water sources and human disturbance. Maximum Entropy Model (MaxEnt) was used to construct a suitability model for Sika Deer within the 50 km × 50 km area with the Qianqingtang Area as the center. The results showed that Sika Deer preferred to choose relatively gentle areas at an altitude of 1050—1240 m, 100—900 m from the road and 3200—3800 m from the populated area. The habitat within the Qianqingtang Area was well protected, and the suitable habitat area is 2224 hm², accounting for 39.1% of the area. Suitable habitats were also found in a mountainous area located about 10 km southwest to the Qianqingtang Area which may provide a potential suitable habitat of 3253 hm² for the deer. To promote the population increase of Sika Deer, we suggested reduction of the human disturbance inside the Qianqingtang Area and wild release of some captive deer to the mountainous area in the southwest.

Key Words: Sika Deer; MaxEnt model; habitat suitability evaluation

人类活动导致众多野生动植物栖息地的退化和丧失,造成全球范围内的生物多样性丧失^[1-2]。对野生动物进行栖息地质量评价,并预测潜在分布区,对濒危野生动物的管理和保护具有重要意义^[3-5]。

传统的栖息地适宜性评价采用回归模型^[6]、机理模型^[7]和生态位模型^[8]等,然而,数据获取的难度及评价的主观性等因素限制了适宜性评价的准确性。近年来,“3S”技术在生态学领域的应用越来越成熟,极大地促进了大尺度上野生动物栖息地适宜性的评价工作^[9-10]。结合“3S”技术,利用最大熵模型(MaxEnt)评价野生动物栖息地的适宜性时只需物种的“出现点”数据,且在数据不多的情况下,精度也比较高,因此 MaxEnt 模型得到了广泛应用^[11-15]。

华南梅花鹿 *Cervus pseudaxis* 是东洋界特有鹿类,1998 年《中国濒危动物红皮书》中被称为“濒危级”,是我国国家一级重点保护野生动物^[16]。在 20 世纪 20 年代以前,华南梅花鹿曾在我国东部广泛分布。近 60 年来,由于人类的捕杀、人为干扰强度的增加和适宜栖息地的丧失,种群数量骤减^[17],现仅分布于安徽、浙江和江西等狭小片区内,彼此间相互隔离^[18]。华南梅花鹿是浙江清凉峰自然保护区的主要保护对象之一,仅分布于千顷塘区域。自 20 世纪 90 年代以来,为更好的保护华南梅花鹿,研究人员开展了一系列的研究工作,包括种群动态^[19-20]、种群遗传^[21-22]、栖息地选择^[23-24]和食性^[25-26]等。研究表明,华南梅花鹿倾向于选择海拔为 1000 m 左右、人为干扰较小的灌草丛为栖息地^[23-24]。

尽管华南梅花鹿面临严峻的栖息地丧失、退化和破碎化等问题,但目前仍未有研究对其栖息地质量现状进行客观评价,也缺乏对其潜在适宜栖息地的预测。本研究利用 MaxEnt 模型对以浙江清凉峰自然保护区千顷塘为中心 50 km×50 km 的区域进行华南梅花鹿栖息地适宜性评价,探讨影响华南梅花鹿空间分布的主要环境因子,以及了解研究区域内栖息地的破碎化现状,以期保护区内栖息地的保护与管理以及圈养种群的野外放归提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

本研究选取以浙江清凉峰国家级自然保护区千顷塘野生梅花鹿保护区域为中心的 50 km×50 km 范围为研究区域(东经 118°51′—119°22′,北纬 30°04′—30°31′),整个分析区域为平均海拔为(442 ± 285) m 的中低山区。浙江清凉峰自然保护区地处浙江省西北部,总面积 11252 hm²,由龙塘山森林生态系统保护区域、千顷塘野生梅花鹿保护区域和顺溪坞珍稀濒危植物保护区域三部分组成。地带性植被主要是以青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)、木荷(*Schima superba*)、甜槠(*Castanopsis eyrei*)为优势种构成的常绿阔叶林。保护区内华南梅花鹿仅分布于千顷塘区域,该区域面积为 5690 hm²,位于浙皖两省交界处,其西面与安徽省绩溪县、歙县相邻,北面与安徽省宁国市毗邻(图 1)。

1.2 数据获取

2014 年 12 月—2016 年 12 月,采用红外相机(LTL 5210MC)网格布设法对千顷塘区域内华南梅花鹿开展种群监测,以获取其分布点数据^[27]。将千顷塘区域划分为 1 km×1 km 的网格,在每个网格中心位置 20 m 范围内选择合适地点作为相机布设点,相机距地面 60—80 cm。整个区域内共布设 58 台红外相机(图 2)。

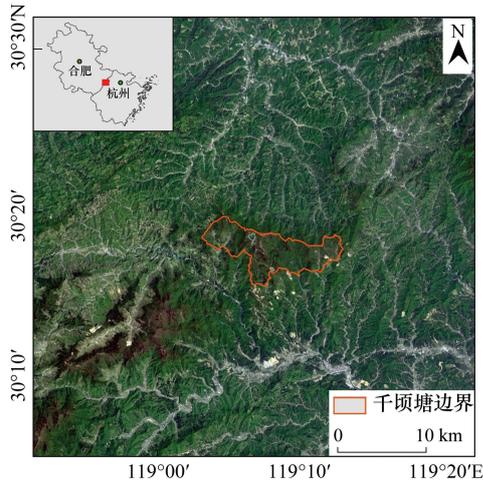


图 1 浙江清凉峰自然保护区千顷塘及周边区域图

Fig.1 Map of the Qianqingtang and the surrounding area of Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve

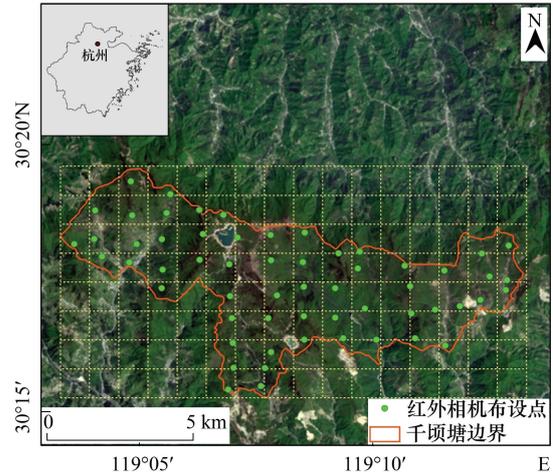


图 2 浙江清凉峰自然保护区红外相机安放位点

Fig.2 Camera trapping sites in Zhejiang Qingliangfeng Nature Reserve

根据付义强^[23]和马继飞^[24]分别在浙江清凉峰自然保护区和江西桃红岭自然保护区对梅花鹿秋季和春季栖息地利用的研究,选取地形、植被、水源及人为干扰等 4 类环境因子用于华南梅花鹿栖息地适宜性模型的构建。地形因子包括海拔、坡度和坡向,由中国科学院科学数据库(<http://www.gscloud.cn/>)下载 30 m 分辨率的数字高程模型(DEM)计算提取得到。植被因子包括植被类型和归一化植被指数;利用 ENVI 5.3,采用监督分类的最大似然法对 2018 年 4 月 19 日研究区域内 Landsat 8 影像进行判读,将其分为水体、建筑用地、灌草丛、农田、竹林、针叶林、针阔叶混交林和阔叶林等 8 类,并计算归一化植被指数。由于山谷可截留雨水或形成溪流,可以为华南梅花鹿提供临时性或永久性水源,因此,我们通过提取研究区域的山谷线获得包括小尺度的水源因子。人为干扰因子主要包括距人口聚居区和道路的距离,其中人口聚居区定义为面积大于 10 hm² 的居住点片区;道路为硬化道路,如省道、县道、乡道、村村通水泥路。

1.3 模型构建

利用 ArcGIS 10.4 将所有环境因子图层的坐标统一为 WGS1984 UTM Zone 50N,像元大小统一为 30 m×30 m,并转化为 MaxEnt 3.4.1 软件要求的 ASCII 格式。将华南梅花鹿 25% 的分布点数据作为测试数据,利用 Jackknife 刀切法分析环境因子对其分布的影响,其他参数均为默认。将模型输出的 ASCII 格式文件导入至 ArcGIS 10.4 中,根据栖息地适宜性值,将其划分为 4 个等级:0—0.25 为不适宜;0.25—0.5 为次适宜;0.5—0.75 为适宜;0.75—1 为最适宜,从而得到清凉峰华南梅花鹿的栖息地适宜性图。

2 结果

2.1 模型的准确性

ROC 曲线结果显示训练数据和验证数据的 AUC 值分别为 0.975 和 0.965,表明 MaxEnt 模型的预测结果处于优秀水平(图 3)。

2.2 华南梅花鹿栖息地选择与环境因子的关系

Jackknife 检验结果表明,海拔、坡度、距道路和人口聚居区的距离是影响华南梅花鹿分布的关键因子,对

MaxEnt 模型的贡献率分别为 76%、11%、5.7% 和 3.2%。华南梅花鹿基本不选择海拔 600 m 以下的区域,在 600—1100 m 区间,其出现的可能性逐渐增加,而在 1200 m 以上区域逐渐降低。华南梅花鹿倾向于选择坡度小于 40° 的区域,其偏好随坡度的减小而增加。对距道路 100—200 m 的区域选择性较高,随着距离的增加反而降低。其选择性随距人口聚居区的距离增加而提高,在 2000—4000 m 区域达到最高,之后反而降低。

2.3 华南梅花鹿栖息地适宜性

研究区域内华南梅花鹿的适宜栖息地主要分布在千顷塘区域及其西南部约 10 km 的龙岗镇(图 4),最适宜和适宜栖息地的面积计为 5477 hm²,占研究区域面积的 2.2%。千顷塘区域最适宜栖息地的面积为 762 hm²,适宜栖息地的面积为 1462 hm²,共占该区域面积的 39.1%。西南部山区最适宜栖息地的面积为 215 hm²,适宜栖息地的面积为 1479 hm²,共占西南部山区面积的 16.7%(表 1)。

3 讨论

MaxEnt 模型分析结果表明,环境因子中对华南梅花鹿栖息地选择贡献率最高的是海拔和坡度,华南梅花鹿倾向于选择海拔 1050—1240 m 范围内的平缓地带,这与前人的研究结果基本相符^[24]。人为干扰对华南梅花鹿栖息地选择的贡献率较低,距道路和人口聚居区距离的贡献率分别为 5.7% 和 3.2%。距人口聚居区越远,人类活动对华南梅花鹿的影响越小,华南梅花鹿的适宜栖息地多位于距人口聚居区 3200—3800 m 范围内。尽管道路交通可能对华南梅花鹿产生干扰,但道路两侧一定范围内(100—900 m)的林地较为开阔,为华南梅花鹿提供了较为适宜的栖息地。

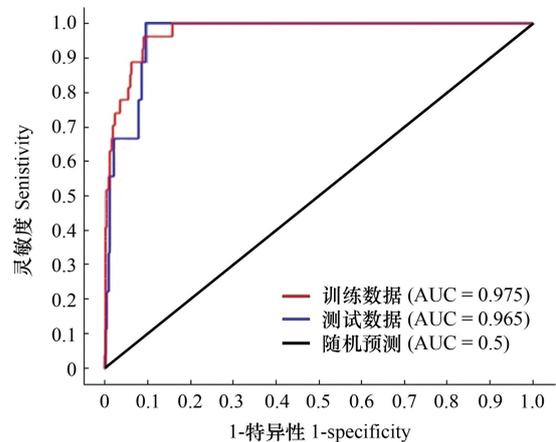


图 3 浙江清凉峰华南梅花鹿栖息地适宜性评价结果的 ROC 曲线检验

Fig.3 ROC curve test for habitat suitability assessment for Sika Deer in Zhejiang Qingliangfeng Nature Reserve

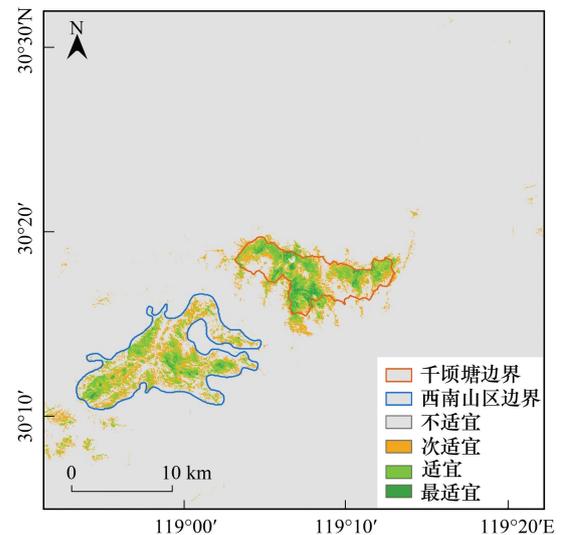


图 4 浙江清凉峰自然保护区及周边区域华南梅花鹿栖息地适宜性图

Fig.4 Habitat suitability map of Sika Deer in Zhejiang Qingliangfeng Nature Reserve and the surrounding areas

表 1 研究区域内华南梅花鹿栖息地适宜性等级及面积

Table 1 Area of Sika Deer habitats of different quality in our study area

	研究区域 The study area	千顷塘 The Qianqingtang area	西南山区 The southwest mountainous area
最适宜面积 Optimum area/hm ²	1127(0.45%)	762(13.4%)	215(2.1%)
适宜面积 Suitable area/hm ²	4350(1.75%)	1462(24.7%)	1479(14.6%)
次适宜面积 Suboptimal area/hm ²	8512(3.4%)	1283(22.5%)	3061(30.3%)
不适宜面积 Unsuitable area/hm ²	236011(94.4%)	2183(39.4%)	5362(53%)
总面积 Total area/hm ²	250000	5690	10117

模型结果表明,华南梅花鹿的适宜栖息地主要分布于千顷塘及其西南部约 10 km 的山区。千顷塘隶属于浙江清凉峰自然保护区,主要保护对象是华南梅花鹿。自保护区成立以来,采取了一系列的保护措施,有效地保护了华南梅花鹿的野生种群及其栖息地,并且建立了约 50 只的圈养种群^[17],且总适宜面积占千顷塘区域面积的 39.1%,建议将千顷塘区域作为其栖息地重点保护区域,保护华南梅花鹿的繁殖发育场所。西南山区海拔较高,植被保存较好,总适宜面积占西南山区面积的 16.7%,在华南梅花鹿适宜栖息地面积锐减的条件下,建议待华南梅花鹿圈养种群发展到一定规模,可优先考虑此区域作为野外放归地。

千顷塘与西南山区之间的省高速 S18、省道 S209 和浙西大峡谷对华南梅花鹿现有及潜在栖息地造成了隔离,阻碍了华南梅花鹿的迁徙,有必要对其栖息地连通性进行分析,以便在现有栖息地和潜在栖息地之间建立迁徙廊道。

4 保护管理建议

首先,加强浙江清凉峰自然保护区千顷塘区域的规划和管理,降低该区域内人为干扰,适当采取栖息地改良措施,使保护区华南梅花鹿种群得到更好的保护。其次,在千顷塘西南部山区开展全面深入的栖息地评价,为在适当时机圈养种群的野外放归提供科学依据。此外,改善千顷塘区域与西南部山区的景观连接度,为华南梅花鹿野生种群的自然扩散提供可能。

致谢:感谢中国计量大学生命科学学院范朋来和浙江清凉峰国家级自然保护区对本研究的帮助。

参考文献 (References):

- [1] Tilman D, Isbell F, Cowles J M. Biodiversity and ecosystem functioning. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2014, 45: 471-493.
- [2] Liu J J, Wilson M, Hu G, Liu J L, Wu J G, Yu M J. How does habitat fragmentation affect the biodiversity and ecosystem functioning relationship. *Landscape Ecology*, 2018, 33(3): 341-352.
- [3] Boubli J P, De Lima M G. Modeling the geographical distribution and fundamental niches of *cacajao* spp. and *Chiropotes israelita* in northwestern amazonia via a maximum entropy algorithm. *International Journal of Primatology*, 2009, 30(2): 217-228.
- [4] Stachura-Skierczyńska K, Tumił T, Skierczyński M. Habitat prediction model for three-toed woodpecker and its implications for the conservation of biologically valuable forests. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(5): 697-703.
- [5] Bai D F, Chen P J, Atzeni L, Cering L, Li Q, Shi K. Assessment of habitat suitability of the snow leopard (*Panthera uncia*) in Qomolangma National Nature Reserve based on MaxEnt modeling. *Zoological Research*, 2018, 39(6): 373-386.
- [6] Schadt S, Revilla E, Wiegand T, Knauer F, Kaczensky P, Breitenmoser U, Bufka L, Červený J, Koubek P, Huber T, Staniša C, Trepl L. Assessing the suitability of central European landscapes for the reintroduction of Eurasian lynx. *Journal of Applied Ecology*, 2002, 39(2): 189-203.
- [7] Xu W H, Ouyang Z Y, Jiang Z Y, Zheng H, Liu J G. Assessment of giant panda habitat in the Daxiangling Mountain Range, Sichuan, China. *Biodiversity Science*, 2006, 14(3): 223-231.
- [8] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 2006, 190(3/4): 231-259.
- [9] Ward D F. Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand. *Biological Invasions*, 2007, 9(6): 723-735.
- [10] Feng T T, Van Manen F T, Zhao N X, Li M, Wei F W. Habitat assessment for giant pandas in the Qinling Mountain region of China. *Journal of Wildlife Management*, 2009, 73(6): 852-858.
- [11] Hirzel A H, Hausser J, Chessel D, Perrin N. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data. *Ecology*, 2002, 83(7): 2027-2036.
- [12] Hernandez P A, Franke I, Herzog S K, Pacheco V, Paniagua L, Quintana H L, Soto A, Swenson J J, Tovar C, Valqui T H, Vargas J, Young B E. Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17(6): 1353-1366.
- [13] Gottwald J, Appelhans T, Adorf F, Hillen J, Nauss T. High-resolution maxent modelling of habitat suitability for maternity colonies of the barbastelle bat *Barbastella barbastellus* (schreber, 1774) in rhineland-palatinate, germany. *Acta Chiropterologica*, 2017, 19(2): 389-398.

- [14] Sharma S, Arunachalam K, Bhavsar D, Kala R. Modeling habitat suitability of *Perilla frutescens* with MaxEnt in Uttarakhand—a conservation approach. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2018, 10: 99-105.
- [15] Ma B B, Sun J. Predicting the distribution of *Stipa purpurea* across the Tibetan Plateau via the MaxEnt model. *BMC Ecology*, 2018, 18: 10.
- [16] 汪松. 中国濒危动物红皮书-兽类. 北京: 科学出版社, 1998: 266-269.
- [17] 程樟峰, 翁东明, 俞平新. 浙江清凉峰自然保护区华南梅花鹿保护现状与对策. *防护林科技*, 2012, (6): 57-58, 91-91.
- [18] 李佳, 李言阔, 缪泸君, 谢光勇, 袁芳凯. 江西桃红岭国家级自然保护区梅花鹿生境适宜性评价. *生态学报*, 2014, 34(5): 1274-1283.
- [19] 郭延蜀, 郑惠珍. 中国梅花鹿地史分布、种和亚种的划分及演化历史. *兽类学报*, 2000, 20(3): 168-179.
- [20] 于江傲, 鲁庆彬, 刘长国. 清凉峰自然保护区华南梅花鹿种群数量与分布研究. *浙江林业科技*, 2006, 26(5): 1-4.
- [21] 刘海, 杨光, 魏辅文, 李明, 胡锦涛. 中国大陆梅花鹿 mtDNA 控制区序列变异及种群遗传结构分析. *动物学报*, 2003, 49(1): 53-60.
- [22] 李明, 王小明, 盛和林, 玉手英利, 增田隆一, 永田纯子, 大泰司纪之. 四种鹿属动物的线粒体 DNA 差异和系统进化关系研究. *动物学报*, 1999, 45(1): 99-105.
- [23] 付义强, 胡锦涛, 郭延蜀, 朱欢兵, 刘武华, 王业生. 桃红岭自然保护区梅花鹿对春季栖息地的利用. *动物学杂志*, 2006, 41(4): 60-63.
- [24] 马继飞, 张恩迪, 章叔岩, 翁东明. 清凉峰自然保护区梅花鹿秋季对栖息地利用的初步分析. *动物学杂志*, 2004, 39(5): 35-39.
- [25] 游卫云, 董良钜, 于江傲, 鲁庆彬, 章叔岩, 周圻. 清凉峰华南梅花鹿冬季食物资源特征研究. *浙江林业科技*, 2007, 27(4): 13-16.
- [26] 郭延蜀. 四川梅花鹿食性的研究. *西华师范大学学报: 自然科学版*, 2001, 22(2): 112-119.
- [27] O'Connell A F, Nichols J D, Karanth K U. *Camera Traps in Animal Ecology*. Tokyo: Springer, 2011: 27-43.