

川西高原地区猕猴栖息地选择的季节差异

斯煌凯¹ 金祖祥¹ 张克处¹ 周飞¹ 姚永芳¹ 肖洪涛¹
李八斤² 普错汪甲² 徐怀亮^{1*}

(1 四川农业大学生命科学学院, 雅安 625014) (2 雅江县林业和草原局, 雅江县自然保护区服务中心, 雅江 627450)

摘要: 2019年7月至2021年3月, 对四川省雅江县一个约40只个体的猕猴 (*Macaca mulatta*) 群进行调查, 以探究猕猴在高原环境下不同季节栖息地选择差异。在猕猴活动区域设置20 m × 20 m利用样方135个, 无猕猴活动区域设置对照样方60个, 测定样方内海拔、放牧活动强度、植被类型等18个生态因子, 计算选择指数并进行主成分分析。研究表明, 在春、夏、秋季, 猕猴倾向在海拔较高处(3 900~4 300 m)活动, 冬季则偏好海拔较低(3 500~3 900 m)的区域; 春、夏、秋季偏好在阳坡活动, 冬季对坡向无明显偏好; 春季偏好高郁闭度(大于60%)栖息地, 秋、冬季偏好低郁闭度(小于60%)栖息地; 冬、春季选择的栖息地更接近河流(距离小于100 m), 夏、秋季距河流较远(距离大于100 m); 夏季偏好在林区活动(针叶林、高山栎林、针阔混交林), 其余季节对低地草地(河谷附近)的偏好增加; 夏、秋季尽可能回避人为干扰强度高的区域, 冬、春季则更多活动在人为干扰强度高的区域。人为干扰和地理特征因子对猕猴四季栖息地选择均有重要影响, 而植被因子主要影响春、夏、秋季的栖息地选择, 隐蔽条件因子主要影响夏季栖息地选择。相比其他低海拔地区, 最大限度获取食物资源及减少能量消耗是猕猴在自然生产力低下的高原环境中生存和繁衍的关键。

关键词: 猕猴; 栖息地选择; 川西高原; 人为干扰

中图分类号: Q958.12

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050(2023)06-0676-13

Seasonal differences in habitat selection of rhesus macaques (*Macaca mulatta*) in the Western Sichuan Plateau region

SI Huangkai¹, JIN Zuxiang¹, ZHANG Kechu¹, ZHOU Fei¹, YAO Yongfang¹, XIAO Hongtao¹, LI Bajin², PUCUOWANGJIA², XU Huailiang^{1*}

(1 College of Life Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

(2 Yajiang County Nature Reserve Service Center, Yajiang County National Forestry and Grassland Administration, Yajiang 627450, China)

Abstract: From July 2019 to March 2021, a follow-up survey was conducted on a group of about 40 rhesus macaques (*Macaca mulatta*) in Yajiang County, Sichuan Province, to explore seasonal differences in habitat selection in a high-altitude environment. 135 plots (20 m × 20 m) were selected based on macaque observations and 60 control plots were set where macaques were not present. 18 ecological factors, such as altitude, grazing intensity, and vegetation types, were measured in each plot and used to calculate a selection index and perform a principal component analysis. The results showed that (1) rhesus macaques preferred staying at higher altitudes (3 900–4 300 m) in spring, summer and autumn, but moved toward lower altitudes (3 500–3 900 m) in winter; (2) the macaques preferred sunny slopes, while in winter, there was no obvious preference for slope orientation; (3) their preferred habitats were areas with high canopy density (greater than 60%) in spring and low canopy density (less than 60%) in autumn and winter; (4) in spring and winter, they stayed near water sources (less than 100 m away), but preferred habitats were more than 100 m from water sources in summer and autumn; (5) in summer, they preferred to move to forested areas (coniferous forest, alpine oak forest, mixed

基金项目: 国家自然科学基金(31870355)

作者简介: 斯煌凯(1995–), 男, 硕士研究生, 主要从事动物生态学研究。

收稿日期: 2022-11-10; 接受日期: 2023-05-16

* 通讯作者, Corresponding author, E-mail: xuhuil@sicau.edu.cn

broadleaf-conifer forest), but in other seasons they favored lowland grasslands (near the river valley) at lower altitude; (6) they avoided areas with high levels of human interference as much as possible in summer and autumn and engaged in more activities in areas with high levels of human interference in winter and spring. Both human disturbance and geographical factors played a significant role in year-round habitat selection. Vegetation factors mainly influenced habitat selection in spring, summer, and autumn, while shelter condition factors mainly affected summer habitat selection. Compared to other low-altitude areas, maximizing access to food and reducing energy consumption are the key factors for macaques to survive and reproduce in plateau environments with low natural productivity.

Key words: *Macaca mulatta*; Habitat selection; Western Sichuan Plateau; Human disturbance

栖息地是动物生存的地理环境, 包括动物利用的一切生态环境因子的总和, 为动物个体或种群的生存、繁衍等一系列生命活动提供保障(颜忠诚和陈永林, 1998; 钟明等, 2016)。不同动物生存繁衍的环境条件各有差异, 因此动物对栖息地的选择具有偏好性。动物对栖息地选择呈动态变化, 与其所处的时空尺度息息相关(Groff *et al.*, 2017; Allegue *et al.*, 2022), 同一物种不同种群, 同一种群在不同季节, 同一个体在不同生理时期, 都会因生存需求的差异而调整选择策略(张明海和李言阔, 2005; 武正军等, 2012; Fu *et al.*, 2022)。栖息地质量显著影响区域内物种的生存状态(高梅香等, 2011), 从而对物种栖息地选择产生显著影响, 目前栖息地破碎化、环境污染、人类活动等一系列问题使适宜物种生存繁衍的栖息地大量减少, 这也成为世界范围内众多物种面临灭绝风险的重要原因(Fahrig, 2003; Nickel *et al.*, 2020)。因此, 揭示野生动物栖息地选择规律对物种保护具有重要意义, 也能促进对生态系统的认识与保护(Johnson, 1980)。

猕猴(*Macaca mulatta*)是灵长目猴科猕猴属最具代表性的物种(蒋学龙等, 1991), 其分布范围广泛, 栖息地环境多样化程度高, 在复杂多样的自然环境中都表现出极强的适应性(路纪琪等, 2018)。目前, 有关猕猴地理分布、种群动态、行为生态等的研究已有较多报道(Cui *et al.*, 2019; 丁振芳等, 2020; 付文等, 2021; 张茹帆等, 2021), 但对于猕猴栖息地选择策略的研究仍较少。食物因子是影响猕猴栖息地选择的主要因素, 四川庐山猕猴冬季为获取更多食物资源而靠近人类活动频繁的区域, 依赖人工投喂解决冬季食物短缺的困境(亓东明, 2014), 太行山猕猴缺乏食物的冬季会主动靠近人类(谢东明等, 2009); 在云南白马雪山, 猕猴冬季尽可能回避人类活动, 选择在常绿阔叶林、针阔混交林觅食(黎大勇等, 2012);

尼泊尔境内的猕猴多分布在海拔3 000 m以下的热带、亚热带、温带森林中, 这些区域食物资源更为丰富(Wada, 2005); 孟加拉国的猕猴多在森林密度较低或森林边缘活动, 游客的投喂为其提供了大量食物(Naher *et al.*, 2016)。此外, 人为干扰、水源等也是影响猕猴密度和分布的重要因素(张忠员等, 2010; Kumar, 2017)。然而大多现有研究聚焦于猕猴单季内短期的栖息地选择策略, 忽略了猕猴面对环境变化在不同季节对栖息地选择做出的适应性调整。长期的栖息地选择研究能更客观反映动物选择的事实(Yamagiwa *et al.*, 1998), 但相关研究往往着眼于栖息在中低海拔地区的物种(余鑫等, 2009), 对高原地区的物种缺乏较多的关注, 仅对雪豹(*Panthera uncia*)、藏羚羊(*Pantholops hodgsonii*)等物种有较多报道(Qi *et al.*, 2015; Bai *et al.*, 2018; Hong *et al.*, 2021)。

高原地区的猕猴种群相比其他区域的猕猴具有独特的生物学特征, 在形态、种群遗传等方面都与低海拔种群有明显差异(蒋学龙等, 1991; 苏倩, 2019), 这与猕猴适应高寒、低氧、强紫外线等恶劣高原自然条件相关。本研究以川西高原地区一猕猴群体为研究对象, 通过一个年周期的跟踪观察, 分析其不同季节对栖息地的选择与利用, 以探究高原地区猕猴栖息地选择随自然环境动态变化的规律。我们推测: 不同季节猕猴的栖息地选择存在较大差异; 食物资源变化是影响猕猴不同季节栖息地选择的主要因素; 高原人类活动少, 猕猴对人为干扰较为敏感, 避免与人类接触; 夏季猕猴对水源依赖降低, 而在冬季, 水源是栖息地选择的重要影响因素。

1 研究方法

1.1 研究地点

研究区域属于四川省甘孜藏族自治州雅江县, 地处雅砻江中游、青藏高原东南缘横断山区, 受

青藏高原复杂地形影响，为典型大陆性季风高原气候，日照强、紫外线辐射强、昼夜温差大。雅江县境内有格西沟国家级自然保护区及神仙山、庆达沟、亿比措、那溪措等省级自然保护区。

研究地点位于雅江县西俄洛乡、红龙乡及柯拉乡三乡交界的嘎波沟，地理坐标北纬29°03′~30°30′，东经100°19′~101°26′，处于四川格西沟国家级自然保护区与四川神仙山省级自然保护区之间。研究区域海拔3 500~4 300 m，植被类型随海拔变化呈现明显垂直分布带，3 500~3 700 m主要为针阔混交林及灌丛，3 700~4 100 m为针叶林与高山栎林交错分布，4 100~4 300 m主要为草地，4 300 m以上多为流石滩。一条主干道路穿过整个研究区域，区域内人为干扰强度较大，主要为附近村庄居民放牧、砍伐、林下采集等。

1.2 研究对象

2019年7月至2021年3月，选择长期生活于研究区域内的一个猕猴群体进行跟踪观察。依据实际跟踪观察，从猴群清晨离开夜宿地开始取样，跟踪猴群至天黑回到夜宿地为完整取样日；从发现猴群的任意时刻起进行观察取样，到天黑猴群回到夜宿地或从观察者视线消失超过30 min为非完整取样日(黄中豪等，2010)。累积跟踪观察猕猴178日，其中完整取样123日，非完整取样55日。研究期间，猴群内有幼猴出生，亦有亚成体离群，个体数保持在40只左右。猕猴是典型的杂食性动物，食物多样化程度高，以植物性食物为主，喜食植物的根、茎、芽、嫩叶、花、果实等，食物缺乏期也会啃食树皮(吕九全等，2002)。区域内猕猴的主要天敌为普通鵟(*Buteo japonicus*)、草原雕(*Aquila nipalensis*)等猛禽以及豹(*Panthera pardus*)、猞猁(*Lynx lynx*)等大中型食肉目动物。

1.3 季节划分

根据研究期间记录的气温数据(图1)，并结合观察当地的物候情况，按照“高原物候季节划分法”(范思睿等，2011)，对研究地区季节进行了划分：春季为4—6月，平均气温(10.37±2.41)℃，初春时期植物嫩芽膨大生长，逐渐开花，晚春大多植物绿叶封冠，开花植物较少；夏季为7—9月，平均气温(12.33±1.12)℃，初夏为二次开花盛期，到了仲夏、晚夏开花的植物逐渐减少，此时叶片已达成叶面积，且夏季为全年光照最为充足

时期，植物进入光合作用最旺盛阶段，植被茂密；秋季为10—11月，平均气温(7.33±2.06)℃，入秋后植物叶片迅速枯黄，果实和种子成熟至凋落，11月下旬气温快速下降，因此秋季时间短，仅有2个月；冬季为12月至次年3月，平均气温(0.68±2.26)℃，天气寒冷干燥，大部分植物枯萎。相比平原地区，高原地区入冬早、入春晚，积雪难以融化，因此冬季更为漫长。

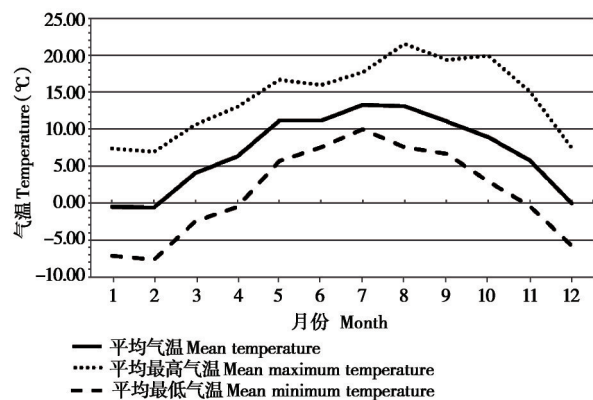


图1 研究区域的月平均最低气温、平均气温、平均最高气温
Fig. 1 Monthly mean minimum temperature, mean temperature, mean maximum temperature in the study area

1.4 样方设置

通过长期跟踪观察，确定猴群的主要活动区域。在实际调查中，若直接观察到猕猴活动(觅食、休憩、玩耍等)或有猕猴新鲜湿软粪便样本(调查区域内无其他灵长类动物，且猕猴粪便与当地其他野生动物粪便易于区分)，则利用GPS记录猕猴活动位置的点，调查期间共记录到135个位点，并在每个位点设置20 m×20 m的利用样方，同时在区域内无猕猴活动及痕迹的区域设置20 m×20 m的对照样方共60个，对照样方距离最近的利用样方至少大于1 km，并使单季内的利用样方和对照样方覆盖研究区域内所有栖息地类型(刘振生等，2009)。共计设置样方195个(表1)。

表1 研究区域不同季节样方设置					
Table 1 Setting of quadrats in different seasons in study area					
季节 Season	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	总计 Total
利用样方 Used quadrats	29	31	35	40	135
对照样方 Control quadrats	19	13	15	13	60
总计 Total	48	44	50	53	195

1.5 生态因子指标

根据研究区域内的相关环境特征, 选取了 18 个相关的生态因子, 这些因子对满足猕猴生存繁衍需求高度相关 (黎大勇等, 2012; Xie *et al.*,

2012; 赵海涛等, 2015)。调查并记录每个样方内 18 个生态因子的具体指标, 不同变量采取不同的衡量手段 (表 2)。

表 2 猕猴栖息地选择生态因子划分标准

Table 2 Details of ecological factor for habitat selection about *Macaca mulatta*

类型 Category	生态因子 Ecological factor	描述 Description
地理特征 Geographical	海拔 Altitude	划分 4 个梯度: (1) [3 500, 3 700] m; (2) (3 700, 3 900] m; (3) (3 900, 4 100] m; (4) (4 100, 4 300] m Divided into 4 types: (1) [3 500, 3 700] m; (2) (3 700, 3 900] m; (3) (3 900, 4 100] m; (4) (4 100, 4 300] m
	地形特征 Topographic features	划分为 6 个类型: (1) 山顶; (2) 山脊; (3) 山谷; (4) 山脚; (5) 山鞍部; (6) 溪谷 Divided into 6 types: (1) Mountaintop; (2) Ridge; (3) Valley; (4) Foot of the mountain; (5) Saddle; (6) Linn
	坡向 Slope aspect	划分为 3 个类型: (1) 阳坡; (2) 半阴半阳坡; (3) 阴坡 Divided into 3 types: (1) Sunny slope; (2) Half sunny and half shady slope; (3) Shady slope
	坡度 Slope gradient (°)	划分为 4 个等级: (1) 缓坡, [0, 15]; (2) 斜坡, (15, 40]; (3) 陡坡, (40, 70]; (4) 陡崖, (70, 90] Divided into 4 types: (1) Gentle slope, [0, 15]; (2) Normal slope, (15, 40]; (3) Abrupt slope, (40, 70]; (4) Scarp, (70, 90]
	坡位 Slope position	划分为 3 个类型: (1) 上坡位; (2) 中坡位; (3) 下坡位 Divided into 3 types: (1) Up slope; (2) Middle slope; (3) Low slope
水源 Water	距水源距离 Distance to water source	根据样方距河流距离, 划分 4 个等级: (1) ≤ 50 m; (2) (50, 100] m; (3) (100, 200] m; (4) ≥ 200 m According to the distance of the quadrat to the river, divided into 4 types: (1) ≤ 50 m; (2) (50, 100] m; (3) (100, 200] m; (4) ≥ 200 m
人为干扰 Human disturbance	距道路距离 Distance to the road	划分为 4 个等级: (1) ≤ 100 m; (2) (100, 300] m; (3) (300, 500] m; (4) ≥ 500 m Divided into 4 types: (1) ≤ 100 m; (2) (100, 300] m; (3) (300, 500] m; (4) ≥ 500 m
	伐木 Deforestation	根据样方内是否曾经发生过伐木活动, 划分为: (1) 无; (2) 有 According to whether logging activity has occurred: (1) No; (2) Yes
	人为活动痕迹 Trace of human activity	根据样方距人类活动、人类建筑及人为痕迹 (如篝火痕迹) 的距离, 划分为 3 个等级: (1) ≥ 30 m; (2) (10, 30] m; (3) ≤ 10 m According to the distance of quadrat from human activity, human construction, or man-made traces (such as campfire traces), divided into 3 types: (1) ≥ 30 m; (2) (10, 30] m; (3) ≤ 10 m
	人为活动时长 Duration of human activity	根据样方内人为活动发生时长, 划分为 4 个等级: (1) 0~2 d; (2) 3~5 d; (3) 6~9 d; (4) ≥ 10 d According to the duration of human activity in the quadrat, divided into 4 types: (1) 0~2 d; (2) 3~5 d; (3) 6~9 d; (4) ≥ 10 d
	放牧活动强度 Grazing intensity	根据样方所在区域内放牧频次及家畜数量, 划分为 6 个等级: (1) 无; (2) 轻; (3) 较轻; (4) 中; (5) 较强; (6) 强 According to the frequency of grazing and the number of livestock in the the quadrat, divided into 6 types: (1) None; (2) Light; (3) Middle and lower; (4) Middle; (5) Middle and upper; (6) Strong
隐蔽条件 Shelter conditions	隐蔽度 Concealment	根据样方四条边中心位置 4 个方向的平均可视距离, 划分为 3 个等级: (1) 高隐蔽度, ≤ 20 m; (2) 中隐蔽度, (20, 50] m; (3) 低隐蔽度, ≥ 50 m According to the average visible distance of 4 directions in the center position of the four sides of the quadrat, divided into 3 types: (1) High, ≤ 20 m; (2) Middle, (20, 50] m; (3) Low, ≥ 50 m
	郁闭度 Canopy density	根据树冠投影法 (树冠阴影与林地面积比值), 划分为 5 个等级: (1) $\leq 20\%$; (2) (20%, 40%]; (3) (40%, 60%]; (4) (60%, 80%]; (5) $\geq 80\%$ According to the ratio of canopy shadow area to woodland area, divided into 5 types: (1) $\leq 20\%$; (2) (20%, 40%]; (3) (40%, 60%]; (4) (60%, 80%]; (5) $\geq 80\%$
植被 ^① Vegetation	植被类型 ^② Vegetation types	划分为 7 个类型: (1) 针叶林; (2) 高山栎林; (3) 针阔叶混交林; (4) 落叶阔叶灌丛; (5) 低地草地 (河谷附近); (6) 高山草地 (山顶); (7) 高山流石滩植被 Divided into 7 types: (1) Coniferous forest; (2) Alpine oak forest; (3) Mixed broadleaf-conifer forest; (4) Deciduous broadleaf shrub; (5) Lowland grassland (near the river valley); (6) Alpine grassland (mountain-top); (7) Alpine screees
	乔木胸径 Average diameter of trees at breast height	根据样方内乔木平均胸径 (>10 cm), 划分为 4 个等级: (1) (10, 20] cm; (2) (20, 30] cm; (3) (30, 40] cm; (4) ≥ 40 cm According to the mean DBH (>10 cm) of trees, divided into 4 types: (1) (10, 20] cm; (2) (20, 30] cm; (3) (30, 40] cm; (4) ≥ 40 cm
	乔木均高 Average height of arbor	根据样方内所有乔木高度的平均值, 划分为 4 个等级: (1) 低, ≤ 5 m; (2) 中, (5, 10] m; (3) 较高, (10, 20] m; (4) 高, ≥ 20 m According to the average height of trees in the quadrat, divided into 4 types: (1) Low, ≤ 5 m; (2) Middle, (5, 10] m; (3) Middle and upper, (10, 20] m; (4) High, ≥ 20 m

续表 2 Continued from table 2

类型 Category	生态因子 Ecological factor	描述 Description
	灌木均高 Average height of shrubs	测算样方中 4 个角和中心点 5 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 小样方内的平均灌木高度, 划分为 4 个等级: (1) 低, $\leq 1\text{ m}$; (2) 中, $(1, 2]\text{ m}$; (3) 较高, $(2, 3)\text{ m}$; (4) 高, $\geq 3\text{ m}$ The mean bush height was measured in 5 small quadrats of $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ at 4 corners and center points in the quadrat, divided into 4 types: (1) Low, $\leq 1\text{ m}$; (2) Middle, $(1, 2]\text{ m}$; (3) Middle and upper, $(2, 3)\text{ m}$; (4) High, $\geq 3\text{ m}$
	草本均高 Average height of herb	测算样方中 4 个角和中心点 5 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 小样方内的平均草本高度, 分为 5 个等级: (1) 低, $\leq 5\text{ cm}$; (2) 较低, $(5, 10]\text{ cm}$; (3) 中, $(10, 20]\text{ cm}$; (4) 较高, $(20, 30)\text{ cm}$; (5) 高, $\geq 30\text{ cm}$ The mean grass height was measured in 5 small quadrats of $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ at 4 corners and center points in the quadrat, divided into 5 types: (1) Low, $\leq 5\text{ cm}$; (2) Middle and lower, $(5, 10]\text{ cm}$; (3) Middle, $(10, 20]\text{ cm}$; (4) Middle and upper, $(20, 30)\text{ cm}$; (5) High, $\geq 30\text{ cm}$

① 猕猴植食性较强, 因此植被因子与食物要素高度相关. ② 低地草地 (河谷附近) 与高山草地 (山顶) 虽同为草地植被类型, 但由于其所处位置水热环境存在较大差异, 且两者之间有明显分界, 因此将其作区分

① *Macaca mulatta* are plant eaters, and vegetation factors are highly correlated with food. ② Although lowland grassland (near the river valley) and alpine grassland (mountaintop) are both grassland vegetation types, they are distinguished because of the great difference in hydrothermal environment and the obvious boundary between them

1.6 数据分析

使用 Vanderloeg 选择系数 W_i (Lechowicz, 1982) 和 Scavia 选择指数 E_i (Chesson, 1978), 评价猕猴对栖息地的偏好程度及其季节差异, 公式如下:

$$W_i = (r_i/p_i)/\sum(r_i/p_i) \quad (1)$$

$$E_i = (W_i - 1/n)/(W_i + 1/n) \quad (2)$$

在公式 (1) (2) 中, i 为特征值, n 为特征值总数. p_i 表示调查的所有样方中具有 i 特征值的样方总数, r_i 表示猕猴选择的具有 i 特征值的样方数. E_i 值的范围为 $[-1, 1]$. 当 $E_i = -1$ 时表示回避 (None, N), 当 $-1 \leq E_i \leq -0.1$ 时表示避免选择 (No preference, NP), 当 $-0.1 < E_i < 0.1$ 时表示随机选择 (Almost random, AR), 当 $0.1 \leq E_i \leq 1$ 时表示偏好选择 (Preference, P), 当 $E_i = 1$ 时表示积极选择 (Strong preference, SP)。

使用 SPSS 22.0, 对影响猕猴栖息地选择的 18 个生态因子数字化变量进行主成分分析 (Principal component analysis, PCA), 得到相关的特征根、特征向量、主成分和贡献率。提取特征值大于 1 的主成分进行分析, 以确定不同季节影响猕猴栖息地选择的主要生态因子 (黎大勇等, 2012; 王伟等, 2013; 朱洪强等, 2019)。

2 结果

2.1 猕猴栖息地选择的季节变化

研究获得猕猴 4 个季节对 18 个生态因子的选择指数, 并确定了猕猴选择偏好 (附表 A, 表 3)。春季猕猴偏好海拔 3 900 ~ 4 100 m 活动, 夏、秋季偏好海拔 3 900 ~ 4 300 m 的区域, 而冬季则更偏

好栖息在海拔 3 500 ~ 3 900 m 的区域。冬、春季猕猴仅选择山脚与溪谷活动, 对其他地形均回避; 夏季偏好山谷与山鞍部, 秋季偏好山脊与山鞍部。猕猴在春、秋季偏好选择阳坡活动, 夏季多在阳坡与半阴半阳坡活动, 冬季对坡向表现为随机选择。猕猴夏、秋季仅在坡度小于 40° 的平缓坡活动, 冬、春季在坡度小于 70° 的区域均能够见其踪迹。猕猴在夏、秋季偏好选择中坡位, 在冬、春季偏好下坡位。

猕猴对高山流石滩与高山草地 (山顶) 表现出明显回避, 对针叶林、高山栎林、针阔混交林、落叶阔叶灌丛、草地 (河谷) 的选择因季节而不同。夏季回避灌丛与低地草地 (河谷附近), 秋季回避灌丛。夏季猕猴偏好选择乔木胸径大于 20 cm 的栖息地, 秋季则偏好乔木胸径大于 40 cm 的环境, 而冬季偏好在乔木胸径 10 ~ 30 cm 的区域活动, 春季对乔木胸径的选择无明显偏好。春、夏季猕猴偏好选择的栖息地乔木均高为 10 ~ 20 m, 秋季更偏好乔木均高大于 10 m 的乔木, 而冬季更多活动于乔木均高小于 10 m 的区域。猕猴在夏、秋季偏好灌木均高小于 2 m 的栖息地, 回避灌木均高大于 3 m 的栖息地, 但在冬、春季偏好灌木均高大于 3 m 的栖息地。对草本均高, 猕猴偏好草本植物长势越好 (均高越高) 的栖息地。春季猕猴偏好选择在郁闭度大于 60% 的区域活动, 夏季偏好郁闭度 40% ~ 80% 的栖息地, 而秋、冬季多在郁闭度小于 60% 的区域活动。夏季猕猴偏好选择高隐蔽度栖息地, 冬季则偏好低隐蔽度栖息地, 而春、秋季对隐蔽度为随机选择。冬、春季猕猴多选择距水源小于

100 m 的区域活动, 而夏、秋季偏好选择距水源 100 ~ 200 m 的栖息地。

人为干扰因子中, 夏季猕猴偏好选择在距道路 300 m 以上的区域活动, 冬季偏好选择距道路小于 300 m 的区域, 春季偏好选择在距道路 100 ~ 500 m 处活动, 而秋季表现为随机选择。猕猴对已发生

伐木活动的区域四季都表现为随机选择。猕猴偏好距人为活动痕迹大于 30 m 的区域, 但在冬季偏好选择距人为活动痕迹 10 ~ 30 m 的栖息地, 除冬季外不选择距人类活动时长小于 2 d 的栖息地。夏、秋两季猕猴偏好无放牧活动或轻放牧的栖息地, 而冬、春季选择放牧活动频繁的区域。

表3 川西高原猕猴四季栖息地选择偏好

Table 3 Preference for habitat selection of macaques in the Western Sichuan Plateau during the four seasons

生态因子 Ecological factor	类别 Category	选择指数 E_i				栖息地选择 Habitat selection			
		春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
海拔	[3 500, 3 700] m	-1. 000	-1. 000	-1. 000	0. 178	N	N	N	P
Altitude	(3 700, 3 900] m	0. 031	-0. 244	-0. 309	0. 178	AR	NP	NP	P
	(3 900, 4 100] m	0. 307	0. 293	0. 280	0. 064	P	P	P	AR
	(4 100, 4 300] m	0. 023	0. 220	0. 257	-1. 000	AR	P	P	N
	地形特征	山顶 Mountaintop	-1. 000	-0. 081	-0. 071	-1. 000	N	AR	AR
Topographic features	山脊 Ridge	-1. 000	-1. 000	0. 130	-1. 000	N	N	P	N
	山谷 Valley	-1. 000	0. 197	0. 054	-1. 000	N	P	AR	N
	山脚 Foot of the mountain	0. 589	0. 087	-0. 044	0. 472	P	AR	AR	P
	山鞍部 Saddle	-1. 000	0. 259	0. 130	-1. 000	N	P	P	N
	溪谷 Linn	0. 361	-0. 140	-0. 347	0. 524	P	NP	NP	P
坡向	阳坡 Sunny slope	0. 137	0. 164	0. 112	-0. 042	P	P	P	AR
Slope aspect	半阴半阳坡								
	Half sunny and half shady slope	-0. 764	0. 140	0. 059	-0. 023	NP	P	AR	AR
	阴坡 Shady slope	-0. 097	-0. 556	-0. 229	0. 059	AR	NP	NP	AR
坡度	[0, 15]	-0. 101	0. 310	0. 353	0. 104	NP	P	P	P
Slope gradient (°)	(15, 40]	0. 180	0. 355	0. 312	0. 071	P	P	P	AR
	(40, 70]	0. 271	-1. 000	-1. 000	0. 235	P	N	N	P
	(70, 90]	-1. 000	-1. 000	-1. 000	-1. 000	N	N	N	N
	坡位	上坡位 Up slope	-1. 000	-0. 090	-0. 037	-0. 296	N	AR	AR
Slope position	中坡位 Middle slope	-0. 012	0. 163	0. 131	-1. 000	AR	P	P	N
	下坡位 Low slope	0. 339	-0. 125	-0. 129	0. 422	P	NP	NP	P
距水源距离	≤ 50 m	0. 121	-0. 174	-0. 182	0. 263	P	NP	NP	P
Distance to water source	(50, 100] m	0. 161	-0. 134	-0. 064	0. 165	P	NP	AR	P
	(100, 200) m	0. 145	0. 144	0. 120	-0. 059	P	P	P	AR
	≥ 200 m	-1. 000	0. 091	0. 072	-1. 000	N	AR	AR	N
	距道路距离	≤ 100 m	-0. 282	-0. 323	-0. 078	0. 218	NP	NP	AR
Distance to the road	(100, 300] m	0. 138	-0. 016	-0. 014	0. 271	P	AR	AR	P
	(300, 500) m	0. 199	0. 139	0. 025	-0. 179	P	P	AR	NP
	≥ 500 m	-0. 232	0. 121	0. 057	-1. 000	NP	P	AR	N
	伐木	无 No	0. 011	-0. 079	-0. 042	0. 077	AR	AR	AR
Deforestation	有 Yes	-0. 011	0. 068	0. 038	-0. 092	AR	AR	AR	AR
人为活动痕迹	≥ 30 m	0. 402	0. 314	0. 283	0. 149	P	P	P	P
Trace of human activity	(10, 30) m	-0. 250	0. 042	0. 096	0. 246	NP	AR	AR	P
	≤ 10 m	-1. 000	-1. 000	-1. 000	-1. 000	N	N	N	N
	人为活动时长	0 ~ 2 d	-0. 337	-0. 567	-0. 185	0. 327	NP	NP	NP
Duration of human activity	3 ~ 5 d	0. 227	0. 158	0. 132	0. 340	P	P	P	P
	6 ~ 9 d	-0. 603	0. 106	0. 101	-1. 000	NP	P	P	N
	≥ 10 d	0. 209	0. 053	-0. 121	-1. 000	P	AR	NP	N
	放牧活动强度	无 None	-1. 000	0. 542	0. 492	-1. 000	N	P	P
Grazing intensity	轻 Light	-1. 000	0. 447	0. 479	0. 216	N	P	P	P
	较轻 Middle and lower	0. 092	-1. 000	-1. 000	-0. 037	AR	N	N	AR
	中 Middle	0. 193	-1. 000	-1. 000	0. 107	P	N	N	P
	较强 Middle and upper	0. 173	-1. 000	-1. 000	0. 001	P	N	N	AR
	强 Strong	0. 308	-1. 000	-1. 000	0. 119	P	N	N	P
	隐蔽度	高 High	0. 057	0. 117	0. 047	-0. 049	AR	P	AR
Concealment	中 Middle	-0. 090	-0. 023	-0. 034	-0. 078	AR	AR	AR	AR
	低 Low	0. 023	-0. 123	-0. 015	0. 107	AR	NP	AR	P

续表 3 Continued from table 3

生态因子 Ecological factor	类别 Category	选择指数 E_i				栖息地选择 Habitat selection				
		春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	
郁闭度 Canopy density	≤ 20%	-0.005	0.065	0.312	0.353	AR	AR	P	P	
	(20%, 40%]	-0.254	-0.031	0.076	0.261	NP	AR	AR	P	
	(40%, 60%]	-0.127	0.142	0.278	0.093	NP	P	P	AR	
	(60%, 80%)	0.138	0.229	-1.000	-1.000	P	P	N	N	
	≥ 80%	0.138	-1.000	-1.000	-1.000	P	N	N	N	
植被类型 Vegetation types	针叶林 Coniferous forest	0.178	0.462	0.302	-0.300	P	P	P	NP	
	高山栎林 Alpine oak forest	0.146	0.343	0.190	0.059	P	P	P	AR	
	针阔混交林 Mixed broadleaf-conifer forest	0.092	0.319	0.243	0.221	AR	P	P	P	
	落叶阔叶灌丛 Deciduous broadleaf shrub	0.003	-1.000	-1.000	0.306	AR	N	N	P	
	低地草地 (河谷) Lowland grassland (near the river valley)	0.335	-1.000	0.336	0.306	P	N	P	P	
	高山草地 (山顶) Alpine grassland (mountaintop)	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	N	N	N	N	
	高山流石滩 Alpine screes	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	N	N	N	N	
	乔木胸径 Average diameter of trees at breast height	(10, 20] cm	0.040	-1.000	0.006	0.118	AR	N	AR	P
	(20, 30] cm	0.047	0.008	-0.129	0.127	AR	AR	NP	P	
	(30, 40) cm	0.093	0.132	-0.042	0.058	AR	P	AR	AR	
乔木均高 Average height of arbor	≥ 40 cm	-0.250	0.253	0.129	-0.520	NP	P	P	NP	
	≤ 5 m	-0.082	-0.220	-0.089	0.214	AR	NP	AR	P	
	(5, 10] m	-0.171	-0.080	-0.101	0.118	NP	AR	NP	P	
	(10, 20) m	0.121	0.164	0.250	0.084	P	P	P	AR	
灌木均高 Average height of shrubs	≥ 20 m	0.077	0.057	0.106	-1.000	AR	AR	P	N	
	≤ 1 m	0.123	0.237	0.118	-0.042	P	P	P	AR	
	(1, 2] m	-0.370	0.331	0.256	-0.136	NP	P	P	NP	
	(2, 3) m	-0.157	-0.437	0.022	0.046	NP	NP	AR	AR	
草本均高 Average height of herb	≥ 3 m	0.211	-1.000	-1.000	0.101	P	N	N	P	
	≤ 5 cm	0.288	-1.000	-1.000	0.129	P	N	N	P	
	(5, 10] cm	0.522	0.078	0.242	0.300	P	AR	P	P	
	(10, 20] cm	-1.000	0.074	-0.099	0.300	N	AR	AR	P	
	(20, 30) cm	-1.000	0.012	0.057	-1.000	N	AR	AR	N	
	≥ 30 cm	-1.000	0.242	0.174	-1.000	N	P	P	N	

N 为回避 ($E_i = -1$); NP 为回避选择 ($-1 \leq E_i \leq -0.1$); AR 为随机选择 ($-0.1 < E_i < 0.1$); P 为偏好选择 ($0.1 \leq E_i \leq 1$)

N means avoid ($E_i = -1$); NP means tend to avoid ($-1 \leq E_i \leq -0.1$); AR means random selection ($-0.1 < E_i < 0.1$); P means like to choose ($0.1 \leq E_i \leq 1$)

2.2 猕猴栖息地选择的主要影响因素

为确定猕猴不同季节栖息地选择的主要影响因素, 分别对 18 个生态因子进行主成分分析。春季栖息地选择的前八个主成分特征值大于 1, 累积贡献率高达 84.095%, 夏季、秋季和冬季则均为前六个主成分特征值大于 1, 累积贡献率分别为 72.724%、77.096%、76.139%, 表明这些主成分已包含了海拔、坡度、坡向、放牧活动强度、郁闭度、草本均高等 18 个参数的所有信息, 可代表猕猴不同季节栖息地选择特征 (附表 B)。

对每个季节特征值大于 1 的主成分进一步计算其特征向量的得分矩阵。春季前八个主成分中, 主成分 1 的乔木均高 (0.814)、主成分 2 的海拔

(0.675)、主成分 3 的坡向 (0.734)、主成分 4 的植被类型 (-0.582)、主成分 5 的地形特征 (0.725)、主成分 6 的放牧活动强度 (0.579)、主成分 7 的草本均高 (0.740) 以及主成分 8 的放牧活动强度 (0.528), 是各个主成分中相关系数绝对值最大的变量; 夏季前六个主成分中距道路距离 (-0.820)、乔木均高 (0.806)、隐蔽度 (-0.742)、坡度 (0.615)、放牧活动强度 (0.649)、坡位 (-0.396) 为各个主成分中相关系数绝对值最大的变量; 秋季前六个主成分中距道路距离 (0.902)、乔木均高 (0.800)、放牧活动强度 (0.674)、坡度 (0.513)、人为活动痕迹 (0.609)、坡度 (0.664), 为各个主成分中相关系数绝对值最大的变量; 冬季前六个主

成分中地形特征 (0.868)、坡度 (-0.798)、海拔 (0.824)、坡位 (0.743)、坡位 (0.550)、伐木 (0.523) 是各个主成分中相关系数绝对值最大的变量。

根据表2中各个生态因子的分类及上述主成分相关系数,表明影响猕猴春、秋季栖息地选择的主要因子为地理特征、人为干扰和植被;影响猕猴夏季栖息地选择的主要因子为地理特征、人为干扰、隐蔽条件和植被;影响猕猴冬季栖息地选择的主要因子为地理特征和人为干扰。

3 讨论

猕猴对环境的适应能力强,自然分布广泛、生境多样,栖息环境可从近海平面至海拔4 000 m以上高原地区(Fooden, 2000; 路纪琪等, 2018)。生存于高原环境下的猕猴相比低海拔猕猴面临更恶劣的自然条件,如食物匮乏、强紫外线辐射、寒冷干燥等,在长期的进化过程中,形成了相对特殊的栖息地选择策略。动物栖息地选择不仅取决于动物本身,还与栖息地的食物丰度、隐蔽度、种间或种内竞争等因素密切相关,是遗传与适应共同作用下形成的(杨萃等, 2011; 张阳等, 2022)。一般认为,食物、水源与隐蔽条件是动物栖息地选择的三大要素(马建章等, 2004)。一年中季节性的气候变化是引起这些生态因子变化的直接原因,动物的栖息地选择也会随季节而改变。

本研究发现,在川西高原地区,尽管猕猴的栖息地总体上已属于高海拔地区(3 500 m以上),其活动范围在海拔上仍表现出明显的季节性分化。在春、夏、秋三季,川西高原地区的猕猴主要活动于3 900~4 300 m的较高海拔地带,而冬季主要活动于3 500~3 900 m的相对较低海拔地带。究其原因,可能是因为春、夏、秋三季较高海拔地带的气温较高,食物资源丰富,且人为干扰少,而较低海拔地带靠近居民点、农田、公路等人类活动区,人为干扰较大,因而猕猴在春、夏、秋季尽可能回避人类活动的干扰,多活动于较高海拔地区;冬季整个高原地区气候寒冷、食物贫乏,较高海拔地带更为显著,因而猕猴在冬季不强烈回避人类活动的干扰,更多地选择较低海拔地带活动,这与庐山猕猴冬季常靠近寺庙等人类活动区域取食的行为类似(元东明, 2014)。对于地理特

征因子的选择,猕猴倾向选择地形平缓、地势起伏小的栖息地,这有助于减少活动过程中的能量损耗;冬、春两季猕猴对山脚、溪谷等区域的偏好以及对山脊的回避也是一种对高原极端环境适应的觅食和能量分配策略,因为高原地区山脊、陡坡处的植被生长条件差、避风性弱,而山脚、溪谷区域地势平缓、水热环境适宜植物生长,食物资源丰富。但对较低海拔的太行山及王屋山的猕猴行为研究发现,这些地区的猕猴在冬季也常出没于山脊地形(谢东明等, 2009; Xie *et al.*, 2012)。这些结果表明,在气候恶劣、自然生产力低下的高原环境中,猕猴的觅食行为策略更为保守,这与众多灵长类动物在应对食物短缺时采取“低成本-低收益”的能量平衡策略一致(Agetsu-*ma*, 1995; 赵海涛等, 2015; Li *et al.*, 2019)。不同季节猕猴对坡向选择存在差异,春、秋季猕猴倾向在植被繁茂的阳坡活动,而夏季对坡向的喜好扩散至半阴半阳坡,冬季对坡向则表现出随机选择,该结果与低海拔地区猕猴大多偏向选择阳坡活动不同,这可能与高原地区冬季食物更为匮乏,猕猴需进一步扩大活动范围寻找食物有关。总之,地理特征因子的选择偏好与食物资源、能量消耗高度相关,相比低海拔地区,高原地区的猕猴在食物缺乏季节更注重尽可能减少能量损耗而获取食物资源。

植被因子往往与食物因素直接相关,同时也关系到隐蔽条件的优劣。夏季猕猴多在食物资源丰富的林区活动,几乎不到低地草地活动,其余季节林区和低地草地均有活动,可能是夏季林区不仅具有丰富的食物资源,林荫还能够减少夏季强光照对动物体的伤害。另外,已有一些研究表明,灵长类喜欢在有高大树木的环境中活动(谢东明等, 2009; 韩宗先等, 2011; 黎大勇, 2015; 余吉等, 2017),高大树木树枝粗壮、林冠茂密,方便猕猴在林上层移动从而减少能量消耗,若遭遇捕食风险,也能为猕猴提供良好的隐蔽条件,降低捕食风险。春、夏季是猕猴的繁殖季,为避免猛禽捕食幼猴,多在郁闭度大于60%的栖息地中活动,但秋、冬季更多在郁闭度小于60%的栖息地活动,可能是由于低郁闭度环境太阳辐射相对较强,有助于猕猴在寒冷季节抵御低温。对于水源的需求,冬、春季气候干燥,食物中水分少,

猕猴偏好在靠近水源的区域活动；而夏、秋季，猕猴可从食物中摄取较多水分，且该区域夏季降雨频繁，在低洼处易形成临时性小水塘，猕猴对河流水源的需求降低，这与神农架川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*) 在不同季节对水源的选择类似 (铁军, 2009)。

本研究发现，相比低海拔地区的猕猴，高海拔环境下的猕猴对人为干扰有更为灵活的选择偏好，可能与高海拔环境下食物资源缺乏相关。夏、秋季猕猴对人类活动有明显回避，偏好在高隐蔽度的区域活动，且对放牧活动高度戒备，因为夏、秋季自然环境中的食物资源能够满足其生存需要，无需增加风险靠近人类。但冬、春季不一样，尤其在冬季，猕猴活动区域与人类活动区域高度重叠，调查过程中发现冬季猕猴常与牦牛在同一草地觅食。冬季食物资源缺乏使猕猴对草本植物的依赖增加，为提高生存机会，其不得不权衡人类活动带来的风险。而当地牧民在遭遇猕猴时也存在投喂现象，使猕猴在冬、春季与人类接触显著增加。在调查分析前，我们认为猕猴会回避伐木区，因为伐木区缺少高大乔木、郁闭度差、人为干扰严重，但结果显示猕猴在伐木区仍有活动。伐木区有大量的倒木，腐烂后是昆虫繁衍栖息的优良场所，鞘翅目昆虫的幼虫、白蚁等常在其中筑巢。在调查中发现，猕猴会剥开这些腐木的表皮取食藏匿于其中的昆虫。昆虫是高质量的食物，能够为猕猴提供优质蛋白质，相关食性研究也证明猕猴存在食虫性 (Lu *et al.*, 2007; Tomar and Sikarwar, 2014)，因此高质量的食物可能是吸引猕猴在伐木区活动的主要原因。

综上所述，川西高原的猕猴根据不同季节的自然资源差异以及人为干扰而产生不同的栖息地选择偏好，地理特征因子、人为干扰因子、植被因子与隐蔽条件因子发挥着重要的作用。与其他低海拔地区的猕猴相比，在四季中随自然环境的变化而最大限度获取高质量食物资源及减少能量消耗，并灵活权衡食物资源与人类干扰的利弊，是该地区猕猴在自然生产力低下的高原环境中生存和繁衍的关键。保护好区域内的自然环境，合理安排放牧、采集、耕种等人类干扰活动，能够减少人兽冲突，从而有效促进该区域人类与猕猴的和谐相处。

致谢：本次调查得到四川省林业和草原局、雅江县西俄洛镇人民政府的大力支持及汪堆村村民提供的帮助，在此一并致谢！

参考文献：

- Allegue H, Guinet C, Patrick S C, Hindell M A, McMahon C R, Réale D. 2022. Sex, body size, and boldness shape the seasonal foraging habitat selection in southern elephant seals. *Ecology and Evolution*, **12** (1): e8457.
- Agetsuma N. 1995. Foraging strategies of Yakushima macaques (*Macaca fuscata yakui*). *International Journal of Primatology*, **15** (5): 595–609.
- Bai D F, Chen P J, Atzeni L, Cering L, Li Q, Shi K. 2018. Assessment of habitat suitability of the snow leopard (*Panthera uncia*) in Qomolangma National Nature Reserve based on MaxEnt modeling. *Zoological Research*, **39** (6): 373–386.
- Chesson J. 1978. Measuring preference in selective predation. *Ecology*, **59** (2): 211–215.
- Cui Z W, Shao Q, Grueter C C, Wang Z L, Lu J Q, Raubenheimer D. 2019. Dietary diversity of an ecological and macronutritional generalist primate in a harsh high-latitude habitat, the Taihangshan macaque (*Macaca mulatta tcheliensis*). *American Journal of Primatology*, **81** (4): e22965.
- Ding Z F, Hao J, Xu H L, Zhang P. 2020. A study of the foraging strategies of rhesus macaques (*Macaca mulatta*) in wild and provisioned free-ranging groups. *Acta Anthropologica Sinica*, **39** (3): 495–506. (in Chinese)
- Fahrig L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **34** (1): 487–515.
- Fan S R, Fan G Z, Dong Y P, Zhou D W. 2011. Research of the seasonal division method on Tibetan Plateau. *Plateau and Mountain Meteorology Research*, **31** (2): 1–11. (in Chinese)
- Fu M X, Pan H, Song X Q, Dai Q, Qi D W, Ran J H, Hou R, Yang X Y, Gu X D, Yang B, Xu Y, Zhang Z J. 2022. Back-and-forth shifts in habitat selection by giant pandas over the past two decades in the Daxiangling Mountains, southwestern China. *Journal for Nature Conservation*, **66**: 126–129.
- Fu W, Ren B P, Lin J Z, Luan K, Wang P C, Wang B, Li D Y, Zhou Q H. 2021. Jiyuan Taihang Mountain macaque population and conservation status. *Journal of Guangxi Normal University* (Natural Science Edition), **39** (1): 45–52. (in Chinese).
- Fooden J. 2000. Systematic review of the rhesus macaque, *Macaca mulatta* (Zimmermann, 1780). *Fieldiana Zoology* (New Series), **96**: 1–180.
- Gao M X, Guo Q X, Cheng Y F. 2011. Simulation of effects of habitat area and quality on population dynamics of wild boar. *Journal of Northeast Forestry University*, **39** (1): 116–119. (in Chinese)
- Groff L A, Calhoun A, Loftin C S. 2017. Amphibian terrestrial habitat selection and movement patterns vary with annual life history period. *Canadian Journal of Zoology*, **95** (6): 433–442.

- Han Z X, Wang W, Hu J C. 2011. Habitat selection by Francois' langur in Jinfo Mountain in spring. *Scientia Silvae Sinicae*, **47** (4): 121–128. (in Chinese)
- Hong Y, Connor T A, Luo H, Bian X X, Duan Z G, Tang Z, Zhang J D. 2021. Spatial utilization and microhabitat selection of the snow leopard (*Panthera uncia*) under different livestock grazing intensities. *Earth Interactions*, **25** (1): 151–159.
- Huang Z H, Huang C M, Zhou Q H, Wei H, Meng Y J. 2010. Diet and the seasonal changes of the Francois' langur (*Trachypithecus francoisi*). *Acta Ecologica Sinica*, **30** (20): 5501–5508. (in Chinese)
- Jiang X L, Wang Y X, Ma S L. 1991. Taxonomic revision and distribution of subspecies of rhesus monkey (*Macaca mulatta*) in China. *Zoological Research*, **12** (3): 241–247. (in Chinese)
- Johnson D H. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*, **61** (1): 65–71.
- Kumar A. 2017. Population density and various stress factors affecting number of rhesus monkey, *Macaca mulatta* (Zimmermann, 1780) in Bir Sonti Reserve Forest in district Kurukshetra, Haryana (India). *Life Science Journal*, **14** (6): 84–89.
- Lechowicz M J. 1982. The sampling characteristics of electivity indices. *Oecologia*, **52** (1): 22–30.
- Li D Y, Hu J, Ren B P, Shen Y S, Zhou Q H. 2012. Winter habitat selection by *Macaca mulatta* in Baimaxueshan National Nature Reserve, China. *Journal of Guangxi Normal University* (Natural Science Edition), **30** (2): 111–116. (in Chinese)
- Li D Y. 2015. Habitat selection of *Macaca thibetana* in Tangjiahe National Nature Reserve. *Journal of Sichuan Forestry and Technology*, **36** (4): 28–32. (in Chinese)
- Li Y H, Huang Z H, Zhou Q H, Ma G Z, Huang C M. 2019. Daily activity pattern in Assamese macaques inhabiting limestone forest, southwest Guangxi, China. *Global Ecology and Conservation*, **20** (20): e00709.
- Liu Z S, Zhang M M, Li Z G, Hu T H, Qu H. 2009. Feeding and bedding habitat selection by red deer (*Cervus elaphus alxaiicus*) during winter in the Helan Mountains, China. *Acta Theriologica Sinica*, **29** (2): 133–141. (in Chinese)
- Lu J Q, Hou J H, Wang H F, Qu W Y. 2007. Current status of *Macaca mulatta* in Taihangshan Mountains area, Jiyuan, Henan, China. *International Journal of Primatology*, **28** (5): 1085–1091.
- Lu J Q, Tian J D, Zhang P. 2018. Advances in ecological research regarding rhesus macaques (*Macaca mulatta*) in China. *Acta Theriologica Sinica*, **38** (1): 74–84. (in Chinese)
- Lyu J Q, Lu J Q, Li J Y, Zhang J Y, Qu W Y. 2002. Feeding habits of *Macaca mulatta* in Taihang Mountains. *Chinese Journal of Ecology*, **21** (1): 29–31. (in Chinese)
- Naher H, Khan S I, Ahmed T. 2016. Population status and distribution of rhesus macaque, *Macaca mulatta*, in a moist deciduous forest of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Zoology*, **44** (1): 60–72.
- Nickel B A, Suraci J P, Allen M L, Wilmers C C. 2020. Human presence and human footprint have non-equivalent effects on wildlife spatiotemporal habitat use. *Biological Conservation*, **241**: 108383.
- Qi D M. 2014. Winter habitat selection of *Macaca mulatta* in Lu Mountain, Sichuan Province. *Hubei Agricultural Sciences*, **53** (6): 1359–1363. (in Chinese)
- Qi G L, Hu Y B, Owens J R, Dai Q, Hou R, Yang Z S, Qi D W. 2015. Habitat suitability for chiru (*Pantholops hodgsonii*): Implications for conservation management across the Tibetan region of Chang Tang. *The Journal of Wildlife Management*, **79** (3): 384–392.
- Su Q. 2019. Study on genetic diversity of rhesus monkeys in south-east margin of the Qinghai-Tibet Plateau. Master thesis. Ya'an: Sichuan Agricultural University. (in Chinese)
- Tie J. 2009. The plant composition in the habitat and food resources evaluation of *Rhinopithecus roxellana* in Shennongjia, China. Master thesis. Beijing: Beijing Forestry University. (in Chinese)
- Tomar S, Sikarwar R. 2014. Feeding ecology and diet composition of rhesus macaques (*Macaca mulatta* ssp. *mulatta*) in Chitrakoot Region, India. *Indian Forester*, **140** (10): 970–975.
- Wada K. 2005. The distribution pattern of rhesus and Assamese monkeys in Nepal. *Primates*, **46** (2): 115–119.
- Wang W, Chu Y M R, Hu G. 2013. Habitat selection of golden snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*) of Baihe Nature Reserve in autumn. *Journal of China West Normal University* (Natural Sciences), **34** (1): 16–21. (in Chinese)
- Wu Z J, Dai D L, Ning J J, Huang C L, Yu H. 2012. Seasonal differences in habitat selection of the crocodile lizard (*Shinisaurus crocodilurus*) in Luokeng Nature Reserve, Guangdong. *Acta Ecologica Sinica*, **32** (15): 4691–4699. (in Chinese)
- Xie D M, Lu J Q, Sichilima A M, Wang B S. 2012. Patterns of habitat selection and use by *Macaca mulatta tcheliensis* in winter and early spring in temperate forest, Jiyuan, China. *Biologia*, **67** (1): 234–239.
- Xie D M, Lu J Q, Lyu J Q. 2009. Winter habitat selection of rhesus macaques (*Macaca mulatta tcheliensis*) in Taihang Mountains, Jiyuan, China. *Acta Theriologica Sinica*, **29** (3): 252–258. (in Chinese)
- Yamagiwa J, Izawa K, Maruhashi T. 1998. Long-term studies on wild Japanese macaques in natural habitats at Kinkazan and Yakushima: preface. *Primates*, **39** (3): 255.
- Yang C, Pan S X, An T H, Ma G, Feng J C, Meng X X. 2011. Preliminary studies on the habitat preference of *Moschus sifanicus* during winter in Xinglongshan National Nature Reserve, Gansu. *Sichuan Journal of Zoology*, **30** (3): 481–487. (in Chinese)
- Yan Z C, Chen Y L. 1998. Habitat selection in animals. *Chinese Journal of Ecology*, **17** (2): 43–49. (in Chinese)
- Yu J, Xu C, Wang R T, Luo Q, Fan Y Y, Hu J. 2017. A preliminary study on habitat selection of Sichuan snub-nosed monkey in Laohegou Nature Reserve. *Journal of China West Normal University* (Natural Sciences), **38** (2): 123–129. (in Chinese)
- Yu X, Li X Y, Wang Y L, Yang S J. 2009. A review on habitat selection of Primates in space and time. *Forest Inventory and Plan-*

- ning, **34** (1): 25–29. (in Chinese)
- Zhang M H, Li Y K. 2005. The temporal and spatial scales in animal habitat selection research. *Acta Theriologica Sinica*, **23** (4): 85–91. (in Chinese)
- Zhang R F, Wu C F, Chen T, Zhang J, Zhang P. 2021. Morphological characteristics of *Macaca mulatta brevicaudus*. *Acta Anthropologica Sinica*, **40** (1): 97–108. (in Chinese)
- Zhang Y, Li J Y, Qian F W, Ma K M. 2022. Historical evolution of habitat suitability of oriental white stork stop over at the Yellow River delta during spring migration. *Journal of Northeast Forestry University*, **50** (1): 93–99. (in Chinese)
- Zhang Z Y, Zhu J, Fan Y M, Lou Y X. 2010. Comparative study on habitats of *Macaca mulatta* in Yongxing Township of Huaping County. *Journal of Southwest Forestry University* (Natural Sciences), **30** (2): 47–51. (in Chinese)
- Zhao H T, Dang G D, Wang C L, Wang X W, Guo D, Luo X, Zhao J Q, He Z B, Li B G. 2015. Diet and seasonal changes in Sichuan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) in the southern Qinling Mountains in China. *Acta Theriologica Sinica*, **35** (2): 130–137. (in Chinese)
- Zhao H T, Wang C L, Wang X W, Li B G, Wang K F, Li T C, Li J F, Gao C L. 2015. Distribution and population status of *Macaca mulatta* in Shaanxi Micangshan National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, **35** (17): 5632–5637. (in Chinese)
- Zhong M, Shi H, An S Q, Leng X, Li N. 2016. The studies of wildlife habitat suitability assessment and habitat fragmentation in China. *Ecological Science*, **35** (4): 205–209. (in Chinese)
- Zhu H Q, Piao M J, Lan J Y, Li L B, Liu J Q, Zhu W Y, Yan G H, Cheng L. 2019. Winter habitat selection of three species of Mustelidae in Huangnihe Nature Reserve. *Chinese Journal of Wildlife*, **40** (1): 75–82. (in Chinese)
- 丁振芳, 郝静, 徐华林, 张鹏. 2020. 猕猴觅食策略的地域性差异. *人类学学报*, **39** (3): 495–506.
- 马建章, 邹红菲, 贾竞波. 2004. 野生动物管理学. 第二版. 哈尔滨: 东北林业大学出版社.
- 王伟, 楚原梦冉, 胡刚. 2013. 白河自然保护区川金丝猴秋季生境的选择性. *西华师范大学学报 (自然科学版)*, **34** (1): 16–21.
- 元东明. 2014. 四川泸山猕猴的冬季生境选择. *湖北农业科学*, **53** (6): 1359–1363.
- 付文, 任宝平, 林建忠, 栾科, 王朋程, 王宾, 黎大勇, 周岐海. 2021. 济源太行山猕猴种群数量和保护现状. *广西师范大学学报 (自然科学版)*, **39** (1): 45–52.
- 吕九全, 路纪琪, 李景原, 张晋豫, 瞿文元. 2002. 太行山猕猴的食性. *生态学杂志*, **21** (1): 29–31.
- 朱洪强, 朴敏娟, 兰佳宇, 李灵贝, 刘佳琪, 朱文字, 阎庚华, 程龙. 2019. 黄河泥保护区三种鼬科动物冬季生境选择研究. *野生动物学报*, **40** (1): 75–82.
- 刘振生, 张明明, 李志刚, 胡天华, 翟昊. 2009. 贺兰山马鹿冬季取食和栖息生境选择. *兽类学报*, **29** (2): 133–141.
- 苏倩. 2019. 青藏高原东南缘地区恒河猴遗传多样性研究. 雅安: 四川农业大学硕士学位论文.
- 杨萃, 潘世秀, 安谈红, 马光, 冯金朝, 孟秀祥. 2011. 甘肃兴隆山自然保护区马麝冬季生境喜好初步研究. *四川动物*, **30** (3): 481–487.
- 余吉, 胥池, 王荣涛, 罗茜, 范元英, 胡杰. 2017. 老河口自然保护区川金丝猴栖息地选择的初步研究. *西华师范大学学报 (自然科学版)*, **38** (2): 123–129.
- 余鑫, 李学友, 王艳玲, 杨士剑. 2009. 灵长类野生动物生境选择的时空研究综述. *林业调查规划*, **34** (1): 25–29.
- 张阳, 李金亚, 钱法文, 马克明. 2022. 黄河三角洲东方白鹳春季迁徙期生境适宜性历史演变. *东北林业大学学报*, **50** (1): 93–99.
- 张明海, 李言阔. 2005. 动物生境选择研究中的时空尺度. *兽类学报*, **23** (4): 85–91.
- 张忠员, 朱静, 番玉买, 娄云祥. 2010. 云南华坪县永兴乡猕猴生境比较. *西南林学院学报*, **30** (2): 47–51.
- 张茹帆, 伍乘风, 陈涛, 张杰, 张鹏. 2021. 海南猕猴的形态学特征及其适应性. *人类学学报*, **40** (1): 97–108.
- 武正军, 戴冬亮, 宁加佳, 黄乘明, 于海. 2012. 广东罗坑自然保护区鳄鱼生境选择的季节性差异. *生态学报*, **32** (15): 4691–4699.
- 范思睿, 范广洲, 董一平, 周定文. 2011. 青藏高原四季划分方法探讨. *高原山地气象研究*, **31** (2): 1–11.
- 赵海涛, 王程亮, 王晓卫, 李保国, 王开锋, 李庭春, 李俊峰, 高存劳. 2015. 陕西米仓山国家级自然保护区猕猴的分布及种群数量调查. *生态学报*, **35** (17): 5632–5637.
- 赵海涛, 党高弟, 王程亮, 王晓卫, 郭东, 罗茜, 赵建强, 贺征兵, 李保国. 2015. 秦岭南坡川金丝猴的食物组成及季节性变化. *兽类学报*, **35** (2): 130–137.
- 钟明, 侍昊, 安树青, 冷欣, 李宁. 2016. 中国野生动物生境适宜性评价和生境破碎化研究. *生态科学*, **35** (4): 205–209.
- 铁军. 2009. 神农架川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*) 栖息地植物构成和食源植物评价研究. 北京: 北京林业大学硕士学位论文.
- 高梅香, 国庆喜, 程远峰. 2011. 模拟生境面积和生境质量对野猪种群动态影响. *东北林业大学学报*, **39** (1): 116–119.
- 黄中豪, 黄乘明, 周岐海, 韦华, 蒙渊君. 2010. 黑叶猴食物组成及其季节性变化. *生态学报*, **30** (20): 5501–5508.
- 蒋学龙, 王应祥, 马世来. 1991. 中国猕猴的分类及分布. *动物学研究*, **12** (3): 241–247.
- 韩宗先, 王维, 胡锦矗. 2011. 重庆金佛山黑叶猴的春季生境选择. *林业科学*, **47** (4): 121–128.
- 谢东明, 路纪琪, 吕九全. 2009. 太行山猕猴的冬季生境选择. *兽类学报*, **29** (3): 252–258.
- 路纪琪, 田军东, 张鹏. 2018. 中国猕猴生态学研究进展. *兽类学报*, **38** (1): 74–84.
- 黎大勇, 胡杰, 任宝平, 沈永生, 周岐海. 2012. 白马雪山自然保护区猕猴冬季栖息地的选择. *广西师范大学学报 (自然科学版)*, **30** (2): 111–116.
- 黎大勇. 2015. 唐家河国家级自然保护区藏酋猴 (*Macaca thibetana*) 的生境选择. *四川林业科技*, **36** (4): 28–32.
- 颜忠诚, 陈永林. 1998. 动物的生境选择. *生态学杂志*, **17** (2): 43–49.

附表 A 川西高原猕猴四季栖息地选择的生态因子特征样方

Appendix A Ecological factor characteristic plots for habitat selection of macaques in the Western Sichuan Plateau during the four seasons

生态因子 Ecological factor	类别 Category	具 i 特征的总样方 P_i				选择样方数 r_i			
		春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
海拔 Altitude	[3 500, 3 700] m	2	1	2	2	0	0	0	2
	(3 700, 3 900] m	13	10	8	19	6	3	2	19
	(3 900, 4 100] m	22	20	25	24	18	18	21	19
	(4 100, 4 300] m	11	13	15	8	5	10	12	0
地形特征 Topographic features	山顶 Mountaintop	2	2	3	1	0	1	2	0
	山脊 Ridge	1	0	2	2	0	0	2	0
	山谷 Valley	5	8	7	5	0	7	6	0
	山脚 Foot of the mountain	29	20	27	23	24	14	19	20
	山鞍部 Saddle	0	5	3	2	0	5	3	0
坡向 Slope aspect	溪谷 Linn	11	9	8	20	5	4	3	20
	阳坡 Sunny slope	15	16	18	14	12	13	15	10
	半阴半阳坡 Half sunny and half shady slope	23	22	20	31	12	17	15	23
	阴坡 Shady slope	10	6	12	8	5	1	5	7
坡度 Slope gradient($^{\circ}$)	[0, 15]	30	28	37	38	14	19	27	29
	(15, 40]	17	16	12	14	14	12	8	10
	(40, 70]	1	0	1	1	1	0	0	1
	(70, 90]	0	0	0	0	0	0	0	0
坡位 Slope position	上坡位 Up slope	3	5	7	5	0	3	5	1
	中坡位 Middle slope	6	14	11	5	2	14	11	0
	下坡位 Low slope	39	25	32	43	27	14	9	39
距水源距离 Distance to water source	≤ 50 m	22	19	22	27	14	10	12	26
	(50, 100] m	16	7	13	14	11	4	9	11
	(100, 200) m	6	8	4	6	4	8	4	3
	≥ 200 m	4	10	11	6	0	9	10	0
距道路距离 Distance to the road	≤ 100 m	16	11	18	28	6	4	11	25
	(100, 300] m	17	13	13	13	15	9	9	13
	(300, 500) m	3	9	4	5	3	8	3	2
	≥ 500 m	12	11	15	7	5	10	12	0
伐木 Deforestation	无 No	21	14	19	26	13	8	12	23
	有 Yes	27	30	31	27	16	23	23	17
人为活动痕迹 Trace of human activity	≥ 30 m	42	37	42	44	28	28	31	32
	(10, 30) m	6	7	8	9	1	3	4	8
	≤ 10 m	0	0	0	0	0	0	0	0
人为活动时长 Duration of human activity	0 ~ 2 d	14	10	17	39	4	2	9	38
	3 ~ 5 d	1	3	2	2	1	3	2	2
	6 ~ 9 d	7	10	16	8	1	9	15	0
	≥ 10 d	26	21	15	4	23	17	9	0
放牧活动强度 Grazing intensity	无 None	1	29	21	0	0	23	15	0
	轻 Light	8	13	27	4	0	8	20	4
	较轻 Middle and lower	11	2	2	5	7	0	0	3
	中 Middle	23	0	0	5	18	0	0	4
	较强 Middle and upper	4	0	0	17	3	0	0	11
	强 Strong	1	0	0	22	1	0	0	18
隐蔽度 Concealment	高 High	4	10	5	3	3	9	4	2
	中 Middle	34	25	28	27	19	17	19	17
	低 Low	10	9	17	23	7	5	12	21
郁闭度 Canopy density	$\leq 20\%$	4	7	13	15	3	5	11	14
	(20%, 40%]	20	17	22	25	9	10	13	19
	(40%, 60%]	17	18	14	13	10	15	11	7
	(60%, 80%)	6	1	0	0	6	1	0	0
	$\geq 80\%$	1	1	1	0	1	0	0	0
植被类型 Vegetation types	针叶林 Coniferous forest	14	13	13	7	10	13	12	2
	高山栎林 Alpine oak forest	6	12	11	10	2	9	8	6
	针阔混交林 Mixed broadleaf-conifer forest	15	11	16	24	9	9	13	20

续附表 A Continued from appendix A

生态因子 Ecological factor	类别 Category	具 <i>i</i> 特征的总样方 P_i				选择样方数 r_i			
		春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
植被类型 Vegetation types	落叶阔叶灌丛 Deciduous broadleaf shrub	10	8	8	6	5	0	0	6
	低地草地 (河谷) Lowland grassland (near the river valley)	3	0	2	6	3	0	2	6
	高山草地 (山顶) Alpine grassland (mountaintop)	0	0	0	0	0	0	0	0
	高山流石滩 Alpine screes	0	0	0	0	0	0	0	0
乔木胸径 Average diameter of trees at breast height	(10, 20] cm	5	2	7	9	3	0	5	8
	(20, 30] cm	13	9	11	21	8	5	6	19
	(30, 40) cm	24	21	20	14	16	15	13	11
	≥ 40 cm	6	12	12	9	2	11	11	2
乔木均高 Average height of arbor	≤ 5 m	8	7	9	19	4	3	5	18
	(5, 10] m	12	14	13	18	5	8	6	14
	(10, 20) m	12	15	18	11	9	14	17	8
	≥ 20 m	16	8	10	5	11	6	7	0
灌木均高 Average height of shrubs	≤ 1 m	12	8	12	12	10	6	8	9
	(1, 2] m	10	25	18	21	3	23	16	13
	(2, 3) m	19	11	20	19	9	2	11	17
	≥ 3 m	7	0	0	1	7	0	0	1
草本均高 Average height of herb	≤ 5 cm	44	0	0	43	25	0	0	30
	(5, 10] cm	4	7	1	4	4	5	1	4
	(10, 20] cm	0	17	12	6	0	12	6	6
	(20, 30) cm	0	16	22	0	0	10	15	0
	≥ 30 cm	0	4	15	0	0	4	13	0

附表 B 川西高原猕猴栖息地选择季节特征值

Appendix B Seasonal characteristic value for habitat selection of macaques in the Western Sichuan Plateau

季节 Season	主成分 Principal components	初始特征值 Initial eigenvalue		提取的因子负荷矩阵 Factor loading matrix	
		特征值 Eigenvalues	累积贡献率 Cumulative contribution rate (%)	特征值 Eigenvalues	累积贡献率 Cumulative contribution rate (%)
春季 Spring	1	3.990	22.165	3.990	22.165
	2	2.536	36.256	2.536	36.256
	3	2.236	48.680	2.236	48.680
	4	1.662	57.912	1.662	57.912
	5	1.295	65.104	1.295	65.104
	6	1.235	71.967	1.235	71.967
	7	1.139	78.293	1.139	78.293
	8	1.044	84.095	1.044	84.095
夏季 Summer	1	4.147	23.039	4.147	23.039
	2	2.817	38.690	2.817	38.690
	3	1.946	49.500	1.946	49.500
	4	1.633	58.570	1.633	58.570
	5	1.416	66.437	1.416	66.437
	6	1.132	72.724	1.132	72.724
秋季 Autumn	1	5.369	29.826	5.369	29.826
	2	2.987	46.422	2.987	46.422
	3	1.921	57.092	1.921	57.092
	4	1.303	64.331	1.303	64.331
	5	1.201	71.001	1.201	71.001
	6	1.097	77.096	1.097	77.096
冬季 Winter	1	5.068	28.153	5.068	28.153
	2	2.983	44.726	2.983	44.726
	3	1.902	55.293	1.902	55.293
	4	1.448	63.336	1.448	63.336
	5	1.190	69.946	1.190	69.946
	6	1.115	76.139	1.115	76.139