

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

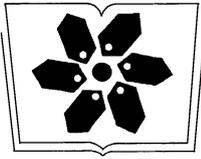
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 23 期 Vol.32 No.23 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 23 期 2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

中国石龙子母体孕期调温诱导幼体表型:母体操纵假说的实验检测	李 宏,周宗师,吴延庆,等	(7255)
同种或异种干扰对花鼠分散贮藏点选择的影响	申 圳,董 钟,曹令立,等	(7264)
曝气充氧条件下污染河道氨挥发特性模拟	刘 波,王文林,凌 芬,等	(7270)
贵州草海越冬斑头雁日间行为模式及环境因素对行为的影响	杨延峰,张国钢,陆 军,等	(7280)
青藏高原多年冻土区积雪对沼泽、草甸浅层土壤水热过程的影响	常 娟,王根绪,高永恒,等	(7289)
长沙城市斑块湿地资源的时空演变	恭映璧,靖 磊,彭 磊,等	(7302)
基于模型数据融合的千烟洲亚热带人工林碳水通量模拟	任小丽,何洪林,刘 敏,等	(7313)
农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准——以江苏省宜兴市为例	张 印,周羽辰,孙 华	(7327)
用 PFU 微型生物群落监测技术评价化工废水的静态毒性	李朝霞,张玉国,梁慧星	(7336)
京郊农业生物循环系统生态经济能值评估——以密云尖岩村为例	周连第,胡艳霞,王亚芝,等	(7346)
基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究	冯晓刚,石 辉	(7355)
海南岛主要森林类型时空动态及关键驱动因子	王树东,欧阳志云,张翠萍,等	(7364)
不同播种时间对吉林省西部玉米绿水足迹的影响	秦丽杰,靳英华,段佩利	(7375)
黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化	王小林,张岁岐,王淑庆,等	(7383)
密植条件下种植方式对夏玉米群体根冠特性及产量的影响	李宗新,陈源泉,王庆成,等	(7391)
沙地不同发育阶段的人工生物结皮对重金属的富集作用	徐 杰,敖艳青,张璟霞,等	(7402)
增强 UV-B 辐射和氮对谷子叶光合色素及非酶促保护物质的影响	方 兴,钟章成	(7411)
不同产地披针叶茴香光合特性对水分胁迫和复水的响应	曹永慧,周本智,陈双林,等	(7421)
芦芽山林线华北落叶松径向变化季节特征	董满宇,江 源,王明昌,等	(7430)
地形对植被生物量遥感反演的影响——以广州市为例	宋巍巍,管东生,王 刚	(7440)
指数施肥对楸树无性系生物量分配和根系形态的影响	王力朋,晏紫伊,李吉跃,等	(7452)
火烧伤害对兴安落叶松树干径向生长的影响	王晓春,鲁永现	(7463)
山地梨枣树耗水特征及模型	辛小桂,吴普特,汪有科,等	(7473)
两种常绿阔叶植物越冬光系统功能转变的特异性	钟传飞,张运涛,武晓颖,等	(7483)
干旱胁迫对银杏叶片光合系统 II 荧光特性的影响	魏晓东,陈国祥,施大伟,等	(7492)
神农架川金丝猴栖息地森林群落的数量分类与排序	李广良,丛 静,卢 慧,等	(7501)
碱性土壤盐化过程中阴离子对土壤中镉有效态和植物吸收镉的影响	王祖伟,弋良朋,高文燕,等	(7512)
两种绣线菊耐弱光能力的光合适应性	刘慧民,马艳丽,王柏臣,等	(7519)
闽楠人工林细根寿命及其影响因素	郑金兴,黄锦学,王珍珍,等	(7532)
旅游交通碳排放的空间结构与情景分析	肖 潇,张 捷,卢俊宇,等	(7540)
北京市妫水河流域人类活动的水文响应	刘玉明,张 静,武鹏飞,等	(7549)
膜下滴灌技术生态-经济与可持续性分析——以新疆玛纳斯河流域棉花为例	范文波,吴普特,马枫梅	(7559)
高温胁迫及其持续时间对棉蚜死亡和繁殖的影响	高桂珍,吕昭智,夏德萍,等	(7568)
桉树枝瘿姬小蜂虫瘿解剖特征与寄主叶片生理指标的变化	吴耀军,常明山,盛 双,等	(7576)
西南桦纯林与西南桦×红椎混交林碳贮量比较	何友均,覃 林,李智勇,等	(7586)
长沙城市森林土壤 7 种重金属含量特征及其潜在生态风险	方 晰,唐志娟,田大伦,等	(7595)
专论与综述		
城乡结合部人-环境系统关系研究综述	黄宝荣,张慧智	(7607)
陆地生态系统碳水通量贡献区评价综述	张 慧,申双和,温学发,等	(7622)



封面图说: 麋鹿群在过河——麋鹿属于鹿科,是中国的特有动物。历史上麋鹿曾经广布于东亚地区,到 19 世纪时,只剩下在北京南海子皇家猎苑内一群。1900 年,八国联军攻陷北京,麋鹿被抢劫一空。1901 年,英国的贝福特公爵用重金从法、德、荷、比四国收买了世界上仅有的 18 头麋鹿,以半野生的方式集中放养在乌邦寺庄园内,麋鹿这才免于绝灭。在世界动物保护组织的协调下,1985 年起麋鹿从英国分批回归家乡,放养到北京大兴南海子、江苏省大丰等地。这是在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区放养的麋鹿群正在过河。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112261980

李广良, 丛静, 卢慧, 薛亚东, 宿秀江, 杨敬元, 李迪强. 神农架川金丝猴栖息地森林群落的数量分类与排序. 生态学报, 2012, 32(23): 7501-7511.
Li G L, Cong J, Lu H, Xue Y D, Su X J, Yang J Y, Li D Q. Numerical classification and ordination of forest communities in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Hubei Shennongjia National Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7501-7511.

神农架川金丝猴栖息地森林群落的数量分类与排序

李广良¹, 丛静¹, 卢慧¹, 薛亚东¹, 宿秀江², 杨敬元³, 李迪强^{1,*}

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;
2. 湖南省白云山自然保护区, 保靖 416500; 3. 湖北神农架国家级自然保护区, 神农架 442421)

摘要:在神农架川金丝猴生境典型地段设立样方 58 块, 根据样方资料对神农架川金丝猴栖息地的森林群落用组平均法分类和 DCA 排序。用组平均法将 58 块样地分为 9 个群系, 依据《中国植被》的分类原则和系统将研究区植物群落划归为 7 个植被型。样地的 DCA 排序较好地揭示了该区森林群落的分布格局与环境梯度的关系; DCA 第二轴明显地反映出森林群落的海拔梯度变化, 沿 DCA 第二轴从右到左, 海拔逐渐升高; 第一轴表现了各植物群落或植物种所在环境的坡度、坡向, 即水分和光照因素, 沿第一轴从下到上, 坡度渐缓、坡向渐向阳。其中海拔梯度是环境因子中对森林群落起决定性作用的因子。研究表明, 巴山冷杉+糙皮桦-大齿槭+尾萼蔷薇-高原露珠草+星果草群系发育较好, 高大树木占有较大的比例, 是神农架川金丝猴最适宜栖息地。7 个植被型物种丰富度指数在群落梯度上呈规律性波动。其中针叶林和针叶-阔叶混交林中, 物种丰富度指数在群落梯度上的总体趋势表现为灌木层>草本层>乔木层; 在常绿阔叶林和常绿-落叶阔叶混交林中, 该趋势为灌木层>乔木层>草本层; 在落叶阔叶林中, 其丰富度指数的趋势为灌木层>草本层和乔木层。不同植被类型川金丝猴食源植物种类在群落梯度上的变化趋势与物种丰富度指数相同, 但地衣类植物作为川金丝猴冬季的重要食物只在针叶林和针叶-阔叶混交林中生长。本研究为制定栖息地保护计划, 更好地保护神农架川金丝猴提供了科学理论依据。

关键词:森林群落; 川金丝猴; 栖息地; 组平均法; DCA; 神农架国家级自然保护区

Numerical classification and ordination of forest communities in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Hubei Shennongjia National Nature Reserve

LI Guangliang¹, CONG Jing¹, LU Hui¹, XUE Yadong¹, SU Xiujiang², YANG Jingyuan³, LI Diqiang^{1,*}

1 Key Laboratory of Forest Ecology and Environment State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Hunan Baiyunshan Nature Reserve, Baojing, 416500, China

3 Hubei Shennongjia National Nature Reserve Administration, Shiyang, 442421, China

Abstract: Quantitative research on ecological relationships at landscape and region scales between vegetation and the environment factors became one of the focuses of vegetation science. In this research a standardized sampling method was used to evaluate the habitat of forest communities in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Hubei Shennongjia National Nature Reserve. Data of investigated plant plots was analyzed by the methods of average linking clustering and distended correspondence analysis (DCA). 58 investigated plant plots were divided into 9 groups and attributed to 7 vegetation types according to the principle and system of classification in Vegetation of China. While the results of DCA revealed that the plant communities were gradually changed with environmental gradients. The results of DCA ordination indicate that the main factors that restricted distribution of the communities were temperature and humidity in habitat of Sichuan Snub-nosed

基金项目:中央级公益型科研院所基本科研业务费专项(CAFRIFEEP201101); 神农架本底资源综合调查项目资助

收稿日期:2011-12-26; **修订日期:**2012-08-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lidiq@sina.com

Monkey in Shennongjia National Nature Reserve. The result of the ordination of species and quadrats were compared and it showed that the ordination plot of the dominant species was in gradients. All these results show that the main factors restricting distribution of the communities is gradient of altitude in this habitat. It was in favor of interpreting the ecological meaning of the ordination axes. The second axis expressed the gradient of altitude among the communities, and the first axis represented the gradient in aspect and slope among the communities. The results indicated that Form. *Abies fargesii*+*Betula utilis*-*Acer megalodum*+*Rosa caudata*-*Circaea alpina*+*Asteropyrum peltatum* in the area is the best habitat for Sichuan Snub-nosed Monkey in Shennongjia because it is developed very well and the tall trees have a large proportion. The trend of richness index changed with environmental gradients. The trend of richness index in the cold temperate coniferous forest and coniferous-deciduous broadleaf mixed forest in different layer along the community is shrub > herb > tree. The trend is shrub > tree > herb in the evergreen broadleaf forest and the evergreen broadleaf forest- deciduous broadleaf mixed forest and the trend is shrub > herb and tree in the deciduous broadleaf forest. Species of food plants of Sichuan snub-nosed monkey in different forest type changed with environmental gradients has positive correlation with the trend of richness index, but Lichens plants which is the most important food for Sichuan snub-nosed monkey only grow in coniferous forest and coniferous-deciduous broadleaf mixed forest. The results of this research could provide a sound basis for reserve management and planning of Sichuan snub-nosed monkey in Shennongjia National Nature Reserve.

Key Words: forest community; Sichuan snub-nosed monkey ; average linking clustering; DCA; habitat; Shennongjia National Nature Reserve

数量分析为客观、准确地揭示植被及其与环境之间的生态关系提供了合理、有效的途径,已成为植被生态学研究的重要内容之一。随近代人口的增长以及对森林资源的不合理利用,造成金丝猴的栖息地丧失或岛屿化,导致该类物种分布区退缩,适宜栖息地面积锐减^[1-6]。植物的多样性是川金丝猴赖以生存的基础^[7-10]。神农架自然保护区是以川金丝猴为主要保护对象的保护区,保护神农架川金丝猴栖息地实际上是保护栖息地内特有的生态关系,所以用数量分析对川金丝猴栖息地内森林群落生态关系的研究,对于保护好川金丝猴栖息地有重要的指导意义。

川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana* Milne-Edwards)是我国特有的珍稀物种,国家 I 级保护动物,目前分布于我国陕西、四川、甘肃及湖北等地。神农架自然保护区是我国川金丝猴分布的最东端,川金丝猴在保护区内主要分布于金猴岭和千家坪地区,现有 8 群约 1200 只。神农架川金丝猴生态学研究起始于 20 世纪 50 年代后期,研究者大量研究了川金丝猴的生理和行为,食源植物的分布、数量^[10-12]。以往研究主要在千家坪地区进行,对自然保护区内其他川金丝猴栖息地研究较少。本文以神农架自然保护区川金丝猴栖息地森林群落为研究对象,运用组平均法分析和 DCA 排序方法综合分析其与周围环境的生态关系,从而深入探讨保护区内植被与周围环境之间的关系,揭示植被及其环境因子的空间分布格局,通过调查、分析与研究,认识神农架川金丝猴栖息环境的植被类型现状,为制定栖息地保护计划,提供科学理论依据。

1 研究方法

1.1 研究地概况

神农架自然保护区位于秦巴山脉东端的神农架山系,110°03'05"—110°33'50"E,31°21'20"—31°36'20"N,总面积为 70467 hm²,是一个以亚热带森林生态系统和珍稀动植物为主要保护对象的自然保护区。神农架山脉是我国东部低山丘陵到西部高山以及青藏高原的一级中间阶梯,地处北亚热带与暖温带的过渡地区。形成了独特的地形与气候特征。神农架自然保护区山体高大,相对高差大,气候垂直分带明显。在低海拔地区表现出北亚热带的气候特征,在海拔 1000 m 左右表现出暖温带的气候特征,在海拔 1700 m 地区表现出温带气候特征,在 2000 m 以上的高海拔地区则表现出寒温带气候特征。同时,神农架也具有明显的水平分带,东部比西部温暖干燥^[10]。

研究区川金丝猴栖息地为神农架自然保护区的核心区部分。降水丰沛,平均年降水量在 800—2500 mm 之间。并随海拔增高而增加,海拔 1000 m 以下地区年降雨量 800—1000 mm,在 2000 m 以上则达 2500 mm。自然保护区范围内河谷深切,沟壑纵横,地貌类型复杂,主要有山地地貌、流水地貌、喀斯特地貌和第四纪冰蚀地貌^[11]。土壤有九个大类,主要有黄棕壤、棕壤、暗棕壤、石灰土、紫色土。在地下水高,排水不畅的地方,也发育有草甸土与沼泽。保护区山势高峻,水系发育多呈树枝状^[10]。本区水系分属香溪河和南河二大水系。香溪河水系流入长江,南河注入汉江。河谷具有明显的幼年期特征,河谷陡狭,多呈“V”形狭谷。坡度大,水流急,水能资源丰富。

1.2 样地调查

于 2011 年 8—9 月期间在神农架自然保护区川金丝猴栖息地进行野外样地调查。从海拔 900m 的山坡向上,以 100 m 的海拔高差为间隔,尽量回避人为活动或自然干扰明显的地段,选择林相较为整齐的森林群落设置样地。在海拔 900—3100 m 区域共设置 58 块 20 m×20 m 的典型样地,其中阴坡 39 块,阳坡 19 块,样地面积均为 400 m²(图 1)。野外调查采用分层样方法,在每块样地四角及中间设置 5 个 5 m×5 m 灌木样方,由于林下草本较稀疏,在调查灌木的样方内同时调查草本。共调查乔木样方 58 个,灌木样方 290 个,草本样方 290 个。调查乔木样方中胸径≥5 cm 个体的种类、株数、胸径、树高、冠幅及枝下高,灌木样方中所有灌木(包括木质藤本及乔木更新幼苗、幼树)、草本样方中所有草本(包括草质藤本)植物的种类、株数、盖度和平均高等指标。乔木盖度计算首先采用椭圆面积的计算公式 $C = \pi XY/4$ (式中 X 和 Y 分别为十字交叉法所测的冠幅长短轴)求得单株植物的冠投影面积,然后对单株植物的冠投影面积求和算出盖度。

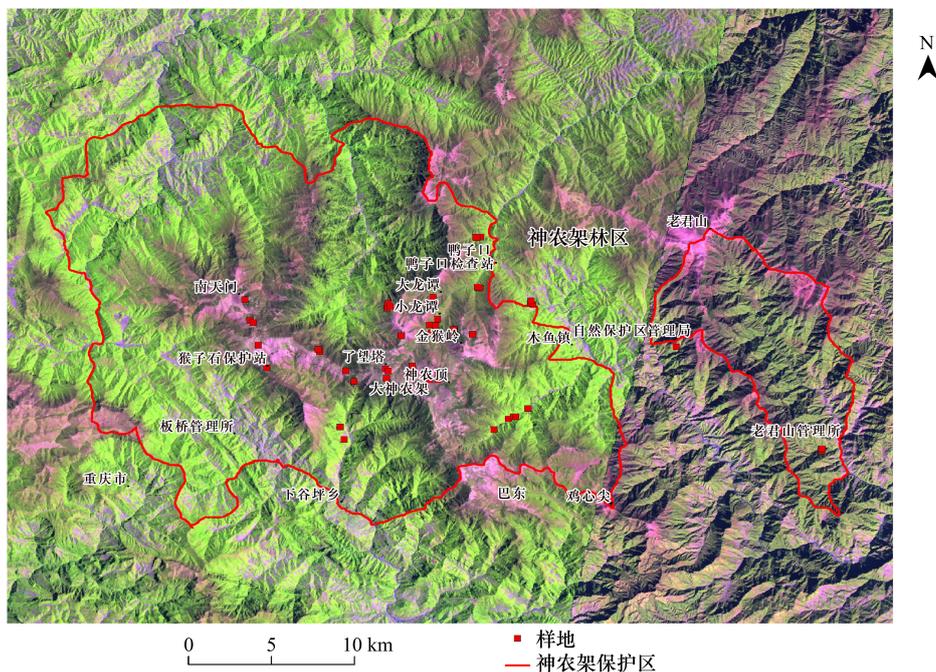


图 1 神农架川金丝猴栖息地调查样地分布示意图

Fig. 1 The location of sample plots in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Shennongjia Nature Reserve

同时,详细记录各样地海拔、坡向、坡度、坡位等环境因子。海拔、坡度以实际观测值表示。坡向为坡面法线在水平面上的投影的方向,坡向数据是以朝东为起点(即为 0°),顺时针旋转的角度表示,采取每 45°为一个区间的划分等级制的方法,以数字表示各等级:1 表示北坡(247.5°—207.5°),2 表示东北坡(292.5°—337.5°),3 表示西北坡(202.5°—247.5°),4 表示东坡(337.5°—22.5°),5 表示西坡(167.5°—202.5°),6 表示东南坡(22.5°—67.5°),7 表示西南坡(112.5°—167.5°),8 表示南坡(67.5°—112.5°),数字越大,表示越向阳,越干热^[6,13-14]。

1.3 数据处理

根据野外调查数据,计算各植物在其所在层片中的相对重要值。乔木层、灌木层和草本层的相对重要值计算方法相同,为:

$$\text{相对重要值} = (\text{相对高度} + \text{相对多度} + \text{相对盖度}) / 3$$

植被数据是 619 个种在 58 个样方中的重要值。

利用 PC-ORD5.0 软件中的 Cluster Analysis 做聚类分析,采用欧氏距离,根据物种的 Jaccard 指数,用组平均法^[15]对群落进行划分。样地中的植物种共有 914 种,删除在所有样地中只出现 1 次的偶见种得到 619 个植物种。植被数据是由 619 个植物种在 58 个样方中的重要值构成的 619×58 维重要值的矩阵,以 619×58 维重要值矩阵进行数量分类;并根据这个 619×58 维重要值矩阵,采用除趋势对应分析法^[16-17](DCA)进行排序。

2 结果与分析

2.1 植被数量分类

根据物种的 Jaccard 指数,用组平均法进行聚类分析,将神农架川金丝猴栖息地植被划分为 9 个群系(图 2),群落命名主要依据法瑞学派与优势种相结合的方法来进行。依据《中国植被》的分类原则和系统将将这 9

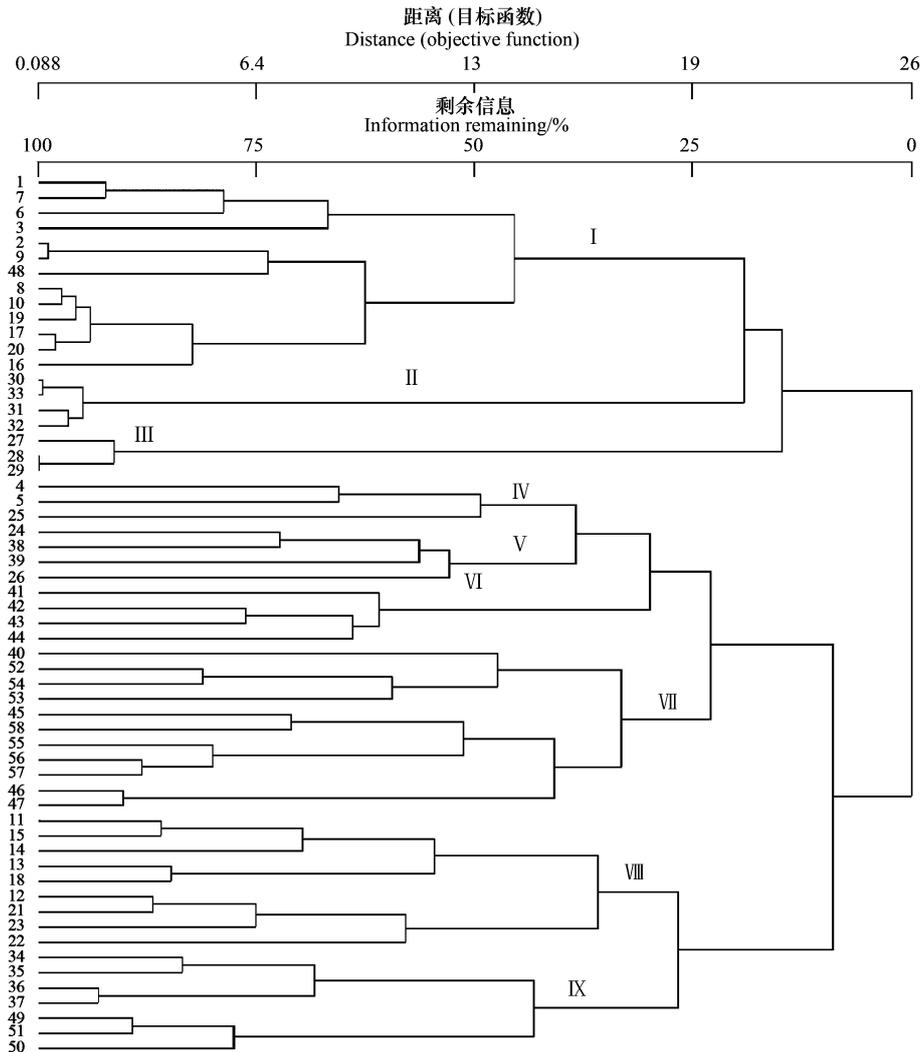


图 2 神农架川金丝猴栖息地森林群落样地的聚类分析树状图

Fig. 2 Classification of the sample plots in habitat of Sichuan Snub-nosed monkey of Shennongjia National Nature Reserve

图中数字 1—58 是样地编号, I—IX 是群系编号

个群系划归为 7 个植被类型:常绿阔叶林(群系 VI)、常绿-落叶阔叶混交林(群系 III),落叶阔叶林(包括群系 V, VII, VIII),温性针叶-落叶阔叶混交林(IX),寒温性针叶-落叶阔叶混交林(群系 II),寒温性常绿针叶林(群系 I),亚高山灌丛(群系 III)。

(1)群系 I 巴山冷杉-粉红杜鹃+箭竹-玉竹+西南草莓群系(Form. *Abies fargesii*-*Rhododendron oreodoxa*+*Fargesia spathacea*-*Polygonatum odoratum*+*Fragaria moupinensis*)该群系分布于海拔 2400—3000m 的阴坡和半阴坡山地,包含样方 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 19, 20。巴山冷杉为乔木层的优势种,伴生有红桦(*Betula albosinensis*);灌木层优势种为粉红杜鹃、箭竹,主要伴生种为湖北花楸(*Sorbus hupehensis*)、长尾槭(*Acer caudatum*)、水榆花楸(*Sorbus alnifolia*)、瑞香(*Daphne odora*);草本层优势种为玉竹、西南草莓,主要伴生种为细叶苔草(*Carex duriusata*)、心萼凤仙花(*Impatiens henryi*)、山酢浆草(*Oxalis acetosella*)等。在该种森林植被型中有金丝猴喜食的巴山冷杉种子,红桦、粉红杜鹃等的嫩芽。本群系类型是川金丝猴夏季生活的主要森林植被型,也是川金丝猴主要的夜宿场所。

(2)群系 II 巴山冷杉+糙皮桦-大齿槭+尾萼蔷薇-高原露珠草+星果草群系(Form. *Abies fargesii*+*Betula utilis*-*Acer megalodum*+*Rosa caudata*-*Circaea alpina*+*Asteropyrum*

peltatum)该群系分布于海拔 1800—2600 m 的阴坡,包含样方 30, 31, 32, 33。巴山冷杉、糙皮桦为乔木层的优势种,主要伴生种有四蕊槭(*Acer tetramerum*)、中华柳(*Salix cathayana*);灌木层优势种为大齿槭、尾萼蔷薇,主要伴生种为唐古特忍冬(*Lonicera tangutica*)、绵果悬钩子(*Rubus lasiostylus*)、藏刺榛(*Corylus ferox*)等;草本层优势种为高原露珠草、星果草,主要伴生种为野草莓(*Fragaria vesca*)、四川婆婆纳(*Veronica szechuanica*)。在该种森林植被型中有多种川金丝猴喜食的食物,如绵果悬钩子、尾萼蔷薇等的果实及巴山冷杉、藏刺榛等的种子。为川金丝猴常年活动的栖息地,特别是川金丝猴冬、春、秋季生活的主要森林植被型。

(3)群系 III 粉红杜鹃-箭竹-松林神血宁群系(Form. *Rhododendron oreodoxa*-*Fargesia spathacea*-*Polygonum pinetorum*)该群系分布于海拔 2700—3000 m 的阴坡和半阴坡山地,包含样方 27, 28, 29。乔木层的优势种是粉红杜鹃,主要伴生种有球穗花楸(*Sorbus glomerulata*);灌木层优势种为箭竹,主要伴生种为角翅卫矛(*Euonymus cornutus*);草本层优势种为松林神血宁,主要伴生种有野草莓(*Fragaria vesca*)、合瓣鹿药(*Maianthemum tubiferum*)。除迁徙过境外,川金丝猴很少进入此植被型。

(4)群系 IV 短柄枹+血皮槭-城口桤叶树+宜昌荚蒾-金星蕨+中华苔草群系(Form. *Quercus glandulifera*+*Acer griseum*-*Clethra fargesii*+*Viburnum erosum*-*Parathelypteris glanduligera*+*Carex chinensis*)该群系分布于海拔 1000—1500 m 的阴坡和半阴坡山地,包含样方 4, 5。乔木层的优势种是短柄枹、血皮槭,主要伴生种有八角枫(*Alangium chinense*)、曼青冈(*Cyclobalanopsis oxyodon*)、灯台树(*Cornus controversa*);灌木层优势种为城口桤叶树、宜昌荚蒾,主要伴生种有异叶梁王茶(*Metapanax davidii*)、山胡椒(*Lindera glauca*);草本层优势种为金星蕨、中华苔草,主要伴生种有腹水草(*Veronicastrum stenostachyum*)、蝴蝶花(*Iris japonica*)、紫萁(*Osmunda japonica*)。该群系是川金丝猴冬春季生活的下限植被型。

(5)群系 V 锐齿槲栎+米心水青冈-宜昌荚蒾+猫儿刺-丝柄苔草+鹿蹄草+中日金星蕨群系(Form. *Quercus aliena*+*Fagus engleriana*-*Viburnum erosum*+*Ilex pernyi*-*Carex filipes*+*Pyrola calliantha*+*Parathelypteris nipponica*)该群系分布于海拔 1500—1800 m 的阳坡和半阴坡山地,包含样方 24, 25, 26, 38, 39。乔木层的优势种是锐齿槲栎、米心水青冈,主要伴生种有总状山矾(*Symplocos botryantha*)、岗柃(*Eurya groffii*)。灌木层优势种为宜昌荚蒾、猫儿刺,主要伴生种有拐棍竹(*Fargesia robusta*)、中华石楠(*Photinia beauverdiana*);草本层优势种为丝柄苔草、鹿蹄草、中日金星蕨,主要伴生种有柄果苔草(*Carex stipitinux*)、绵毛马兜铃(*Aristolochia moupinensis*)。该植被类型属落叶阔叶林,为冬、春、秋季川金丝猴生活的主要植被型。

(6)群系 VI 灰岩润楠+栓叶安息香-细叶青冈+黄心夜合-柄果苔草+顶芽狗脊群系(Form. *Machilus calcicola*+*Styrax suberifolius*-*Cyclobalanopsis gracilis*+*Michelia martini*-*Carex stipitinux*+*Woodwardia unigemmata*)该群系分布于海拔 900—1200 m 的阴坡和半阴坡山地,包含样方 41, 42, 43, 44。乔木层的优势种是灰岩润楠、

桧叶安息香,主要伴生种有华中八角 (*Illicium lanceolatum*)、川桂 (*Cinnamomum wilsonii*)、竹叶楠 (*Phoebe faberi*)。

灌木层优势种为细叶青冈、黄心夜合,主要伴生种为华中八角 (*Illicium lanceolatum*)、曼青冈 (*Cyclobalanopsis oxyodon*);草本层优势种为柄果苔草、顶芽狗脊,主要伴生种为柄状苔草 (*Carex pediformis*)、虹鳞肋毛蕨 (*Ctenitis membranifolia*)。该群系为常绿阔叶林,是川金丝猴冬春季生活的下限植被型,川金丝猴很少进入此植被型。

(7)群系 VII 米心水青冈+少脉槲-灰叶稠李+菝葜-珠芽蟹甲草+多头风毛菊群系 (Form. *Fagus engleriana* + *Tilia paucicostata*-*Padus grayana*+*Smilax china*-*Parasenecio bulbiferoides*+*Saussurea polycephala*) 该群系分布于海拔 1200—1800 m 的阳坡和半阴坡山地,包含样方 40,45,46,47,52,53,54,55,56,57,58。乔木层的优势种是米心水青冈、少脉槲,主要伴生种有雷公鹅耳枥 (*Carpinus viminea*)、漆树 (*Toxicodendron vernicifluum*)、华中樱桃 (*Cerasus conradinae*);灌木层优势种为灰叶稠李、菝葜,主要伴生种有薄叶鼠李 (*Rhamnus leptophylla*)、蕊帽忍冬 (*Lonicera pileata*)、针刺悬钩子 (*Rubus pungens*);草本层优势种为珠芽蟹甲草、多头风毛菊,主要伴生种有紫堇 (*Corydalis edulis*)、羽毛地杨梅 (*Luzula plumosa*)。该植被类型属落叶阔叶林,为冬、春、秋季川金丝猴生活的主要森林植被型。

(8)群系 VIII 山杨+红桦-蕤兰绣球+麻核桐子-野青茅+金星蕨群系 (Form. *Populus davidiana*+*Betula albosinensis*-*Hydrangea longipes*+*Cotoneaster foveolatus*-*Deyeuxia arundinacea*+*Parathelypteris glanduligera*) 该群系分布于海拔 1500—1800 m 的阳坡和半阴坡山地,包含样方 11,12,13,14,15,18,21,22,23。乔木层的优势种是山杨、红桦,主要伴生种有湖北海棠 (*Malus hupehensis*)、华中樱桃 (*Cerasus conradinae*)、湖北山楂 (*Crataegus hupehensis*);灌木层优势种为蕤兰绣球、麻核桐子,主要伴生种是五味子 (*Schisandra chinensis*)、软条七蔷薇 (*Rosa henryi*);草本层优势种为野青茅、金星蕨,主要伴生种是湖北大戟 (*Euphorbia hylonoma*)、湖北老鹳草 (*Geranium rosthornii*)。在该植被型中有多种川金丝猴喜食的食物,如海棠、蔷薇、山楂、樱桃、五味子的果实。该植被类型属落叶阔叶林,为冬、春、秋季川金丝猴生活的主要植被型。

(9)群系 IX 华山松+华中樱桃-广椭绣线菊+暗红桐子-丝柄苔草+中日金星蕨群系 (Form. *Pinus armandii*+*Cerasus conradinae*-*Spiraea ovalis*+*Cotoneaster obscurus*-*Carex filipes*+*Parathelypteris nipponica*) 该群系分布于海拔 1800—2600 m 的阳坡和半阴坡山地,包含样方 34,35,36,37,49,50,51。乔木层的优势种是华山松、华中樱桃,主要伴生种是

湖北山楂 (*Crataegus hupehensis*)、湖北花楸 (*Sorbus hupehensis*);灌木层优势种为广椭绣线菊、暗红桐子,主要伴生种是针刺悬钩子 (*Rubus pungens*)、尾萼蔷薇 (*Rosa caudata*);

草本层优势种为丝柄苔草、中日金星蕨,主要伴生种是蜜蜂花 (*Melissa axillaris*)、六叶葎 (*Galium asperuloides*)。蔷薇、山楂、悬钩子、樱桃等的果实和华山松的种子都是川金丝猴喜食的食物,该植被型为川金丝猴常年活动的栖息地,特别是川金丝猴冬、春、秋季生活的主要森林植被型。

2.2 DCA 排序

从图 3 可以看出,组平均分类法的分类类型在 DCA 排序图上各自有较明确的分布范围和界限,说明此分类方法结合使用 DCA 效果较好,它较准确地反映出各森林群落之间以及森林群落与环境之间的关系^[17-19]。DCA 第二轴基本上是一个海拔由高到低或热量由低到高的变化梯度,DCA 的第一轴表现了森林群落所在环境的坡度、坡向,即水分和光照因素,沿第一轴从下到上,坡度渐缓、坡向渐向阳。海拔的影响比较明显,这是由于神农架金丝猴栖息地海拔梯度较大,而降水量充足,水分的影响不明显。

从群系类型来看,各群系类型在排序图上有规律地分布。适宜于寒冷、湿润的高海拔生境的粉红杜鹃-箭竹-松林神血宁群系(群系 III)、巴山冷杉-粉红杜鹃+箭竹-玉竹+西南草莓群系(群系 I)、巴山冷杉+糙皮桦-大齿槭+尾萼蔷薇-高原露珠草+星果草群系(群系 II)位于排序图左下部。喜阳的米心水青冈+少脉槲-灰叶稠李+菝葜-珠芽蟹甲草+多头风毛菊群系(群系 VII)位于排序图右下部。短柄枹+血皮槭-城口桤叶树+宜昌莢

蕨-金星蕨+中华苔草群系(群系Ⅳ)、灰岩润楠+栓叶安息香-细叶青冈+黄心夜合-柄果苔草+顶芽狗脊群系(群系Ⅵ)对水分要求不太严格,但适于较低海拔的温暖环境,位于排序图右上部;锐齿槲栎+米心水青冈-宜昌茱萸+猫儿刺-丝柄苔草+鹿蹄草+中日金星蕨群系(群系Ⅴ)、山杨+红桦-蕤兰绣球+麻核栒子-野青茅+金星蕨群系(群系Ⅷ)、华山松+华中樱桃-广椭绣线菊+暗红栒子-丝柄苔草+中日金星蕨群系(群系Ⅸ),生境范围广,因而位于排序图较为中心的位置。

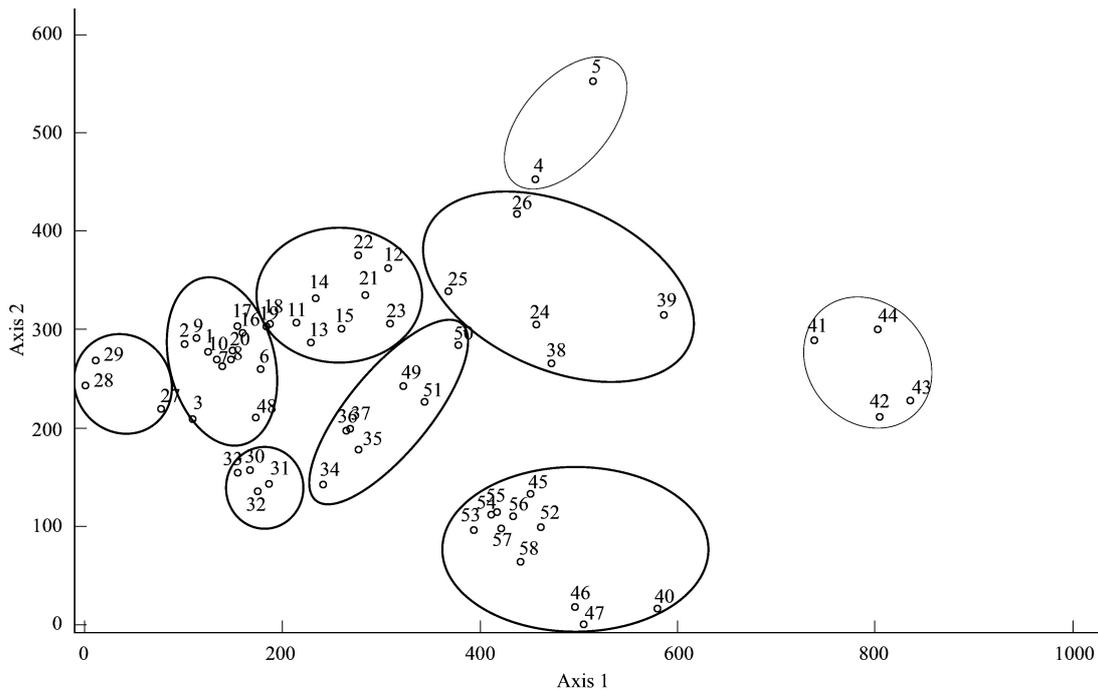


图3 神农架川金丝猴栖息地群落58个样方的DCA二维排序图

Fig. 3 Two-dimensional DCA ordination diagram of 58 quadrats of forest community in the Shennongjia National Nature Reserve

2.3 各群系乔木层胸径等级与高度等级数量分析

由表1可见巴山冷杉+糙皮桦群系(群系Ⅱ)胸径大于45 cm的树木所占比例是各群系中最大的,平均达到了41.2%。在一定程度上,胸径的大小可以预示树木的年龄,胸径大的树木占的比例较高说明这个群系的树木比较原始^[20]。同时,胸径的大小可表示树木的承载能力,对于川金丝猴这种典型的树栖灵长类来说,胸径大的树木占有相当比例,无疑十分有利于其生存和持续发展。群系中高度大于20 m的树木占的比例也是各群系中最大的,平均达到了88.2%。高大优势乔木,其树冠伸展大,树冠间距小,避免川金丝猴在树间的跳越迁徙或逃避时消耗过多的能量,也为猴群提供了安全活动空间和宽阔的视野^[10-11]。一般而言,高度越高,表示川金丝猴越容易躲避各类干扰和人类的猎杀,所以高树占有较大的比例对川金丝猴的安全和撑起川金丝猴的“空中走廊”都具有十分重要的意义。从隐蔽性来说在神农架寒温性针叶林植被类型是川金丝猴最佳的栖息地。

巴山冷杉群系(群系Ⅰ)胸径大于15 cm而小于45 cm的树木所占比例是各群系中最大的,平均达到了76.6%。树高没有超过20 m的,因为接近山顶风力强,气候条件差,生长缓慢。相对于群系Ⅱ,群系Ⅰ虽然也是原始林,并不是川金丝猴最佳的栖息地。

锐齿槲栎+米心水青冈群系(群系Ⅴ),内各径级、树高内的树木都占有一定的比例,说明这个群系处于相对稳定的时期,发育较好。如果排除人为干扰,应该是川金丝猴很好的栖息地。

群系Ⅸ,Ⅷ内树木径级不大,但各高度等级的树木都占有一定的比例,形成了合理的空间格局,虽然是次生林,但在栖息地范围内现有面积较大,是实际川金丝猴经常活动的场所,是适宜栖息地。

群系Ⅶ,Ⅵ也是次生林,树木径级没有大于45 cm的,能提供川金丝猴基本生存条件,是基本适宜的栖

息地。

群系Ⅲ从树木径级和树高上来看,没有高大树木,树高,胸径值都是最低的,隐蔽性差,不是川金丝猴适宜的栖息地。

表 1 各群系胸径等级与高度等级内乔木株数的比例/%

Table 1 Proportions of trees in terms of DBH classes and height classes in different form

群系类型 Form	胸径 Diameter at breast height DBH			高度 Height		
	5cm<D≤15cm	15cm<D≤45cm	D>45cm	H≤10m	10m<H≤20m	H>20m
I	23.4	76.6	0	87.2	13.8	0
II	0	58.8	41.2	0	11.8	88.2
V	66.2	29.6	4.2	67.6	21.8	10.6
IX	76.9	23.1	0	76.9	19.2	3.9
IV	81.7	18.3	0	89.8	10.2	0
VII	72.1	17.9	0	62.3	37.7	0
VI	84.2	15.8	0	5.3	94.7	0
VIII	87.5	12.5	0	74.2	21.1	4.7
III	100	0	0	100	0	0

2.4 不同植被类型植物多样性

从植被类型分析从低海拔的常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林到高海拔的寒温性常绿针叶林、亚高山灌丛植物物种数逐渐下降(表2)。常绿阔叶林中植物物种数灌木层相对高于乔木层,乔木层相对高于草本层。这与退化生态系统中所表现出的乔木层的物种多样性指数明显低于灌木层和草本层的特点有明显区别,而与在干扰较小的常绿阔叶林中各层次物种多样性表现为灌木层高于乔木层,而乔木层高于草本层的趋势基本一致,这说明常绿阔叶林虽然受到人类活动的干扰,但尚未完全退化。常绿-落叶阔叶混交林与常绿阔叶林的情况基本相同。在落叶阔叶林中,丰富度指数的趋势为灌木层相对高于草本层和乔木层,这与暖温带地区的落叶阔叶林所表现出的乔木层>灌木层>草本层这一趋势明显不同。这是因为不仅落叶栎林曾遭砍伐,而针叶-落叶阔叶混交林中的华山松、巴山冷杉、铁杉被砍伐后也形成了红桦,山杨为主的落叶阔叶林,因此乔木层物种明显偏少。落叶阔叶林也是金丝猴的主要活动区,应注意合理保护,尽快恢复。针叶-落叶阔叶混交林草本层>灌木层>乔木层的趋势与我国温带针叶-落叶阔叶混交林表现趋势相同。寒温性常绿针叶林和亚高山灌丛与针叶-落叶阔叶混交林的情况相同,说明这些林型受人为活动干扰较少。

表 2 不同植被类型乔、灌、草物种数

Table 2 Number of species of tree, shrub and herb in different forest type

森林类型 Forest type	乔木种数 Tree	灌木种数 Shrub	草本种数 Herb	总植物种数 Number of species
常绿阔叶林	60	74	58	192
常绿-落叶阔叶混交林	64	92	36	192
落叶阔叶林	32	68	65	165
温性针叶-落叶阔叶混交林	25	66	78	158
寒温性针叶-落叶阔叶混交林	23	58	62	143
寒温性常绿针叶林	11	26	36	73
亚高山灌丛	4	7	9	20

2.5 栖息地川金丝猴食物资源分布特点

在调查的 58 个样地所记录的 914 种植物中, 98 种为川金丝猴食源植物, 占已知神农架川金丝猴食源植物总数 202 种(暂时统计数据)的 48.51%。栖息地中物种丰富度沿海拔梯度的变化格局是随海拔升高而递减。栖息地低海拔的植物种类最多, 植株密度最高, 随着海拔高度增加, 植物种类和植株密度逐渐降低, 随

之潜在的食物资源从低海拔到高海拔逐渐降低。有研究表明,川金丝猴的食性具有明显的季节性变化。在春夏两季,川金丝猴取食植物的芽和嫩叶,还有少量花、果实和种子;在秋季仍取食植物叶片、果实和种子;在冬季,川金丝猴的食物以地衣和华山松的果实为主;而且地衣是它们在冬季最重要的食物,占总食物量的50%^[8]。由表3可见在不同植被类型中,常绿-落叶阔叶混交林川金丝猴食源植物种类最丰富,但金丝猴很少进入,这是由于在这些海拔较低的地区人为干扰较严重。

表3 不同植被类型川金丝猴食源植物种类统计

Table 3 Statistic on the food plants of Sichuan snub-nosed monkey in different forest type

森林类型 Forest type	乔木种数 Tree	灌木种数 Shrub	草本种数 Herb	地衣类植物种数 Lichens plants
常绿阔叶林	21	25	11	0
常绿-落叶阔叶混交林	23	35	9	0
落叶阔叶林	10	26	15	0
温性针叶-落叶阔叶混交林	15	35	13	4
寒温性针叶-落叶阔叶混交林	13	32	8	4
寒温性常绿针叶林	3	11	5	4
亚高山灌丛	2	4	2	0

3 结论

通过样地调查发现,由于神农架金丝猴栖息地的山地海拔差距较大,气候变化明显,植被的垂直分布随之发生有规律的变化,垂直带谱分明,不同海拔范围人类活动的干扰状况、群落类型、群落小生境以及水热条件的组合等也是影响群落组成的重要因子^[21-27]。用组平均法进行聚类分析,将栖息地植被划分为9个群系,分为7个森林类型:常绿阔叶林,海拔900—1000 m以下;常绿落叶阔叶混交林,海拔1000—1700 m;落叶阔叶林,海拔1600—2100 m;温性针叶-落叶阔叶混交林,海拔1500—2400 m;寒温性常绿针叶林,海拔2600—2800 m;暗针叶林,海拔2300 m以上,亚高山灌丛2600以上。

森林群落分布格局主要受海拔梯度的影响,从而导致植被类型的垂直分布,样地的DCA排序较好地揭示了该区森林群落的分布格局与环境梯度的关系;DCA第二轴明显地反映出森林群落的海拔梯度变化,沿DCA第一轴从右到左,海拔逐渐升高;第二轴表现了各植物群落或植物种所在环境的坡度、坡向,即水分和光照因素,沿第一轴从下到上,坡度渐缓、坡向渐向阳。其中海拔梯度是环境因子中对森林群落起决定性作用的因子。

7个植被型物种丰富度指数在群落梯度上呈规律性波动。其中针叶林和针叶-阔叶混交林中,物种丰富度指数在群落梯度上的总体趋势表现为灌木层>草木层>乔木层;在常绿阔叶林和常绿-落叶阔叶混交林中,该趋势为灌木层>乔木层>草本层;在落叶阔叶林中,其丰富度指数的趋势为灌木层>草本层和乔木层。

川金丝猴生存要素最基本两点就是食物来源、活动空间和隐蔽场所,也就是栖息地自然环境^[28]。保护金丝猴,主要是保护其栖息的自然环境。不同植被类型川金丝猴食源植物种类在群落梯度上的变化趋势与物种丰富度指数相同,但地衣类植物作为川金丝猴冬季的重要食物只在针叶林和针叶-阔叶混交林中生长。研究表明,在相对高海拔(2400—2600 m)区域主要分布着巴山冷杉、糙皮桦和粉红杜鹃等少数树种,食源植物相对密度也较小,不适合川金丝猴长期宿营;相反,在相对低海拔(1800—2350 m)的低地湿润区域和沟谷却分布着华山松、巴山冷杉、红桦、糙皮桦和栎类等高大乔木树种,此外还分布着10余种川金丝猴最喜欢的采食植物。这些栖息地优势树种的叶、嫩芽、果实和种子为川金丝猴提供春夏秋三季的食物,而且寄生在这些树种上的松萝科松萝属(*Usnea*)的长松萝(*U. longissima*)、粗皮松萝(*U. montis-fuji*)、尖刺松萝(*U. aciculifera*)和小刺褐松萝(*U. luridorufa*)4种树衣类植物是川金丝猴最喜食的冬季主要食物^[10,12]。总之,神农架川金丝猴栖息地植物组成复杂,优势种多为食源植物;该区域植物组成为川金丝猴提供足够的食源和活动空间,是

它们长期赖以生存的理想空间。

一般来说,树木的胸径越大,则其生长越好,承载能力也越强,川金丝猴在取食和玩耍时折断树枝跌落的风险就小,反之亦然;而树木的高度则可以作为躲避地面天敌捕食或人类干扰的指标,一般情况下,树木越高,被天敌和人类威胁的几率越小,对川金丝猴的安全越有利^[29]。巴山冷杉+糙皮桦群系胸径大于 45 cm 和高度大于 20 m 的树木所占比例是各群系中最大的,是神农架川金丝猴最适宜隐蔽场所。巴山冷杉群系次之,粉红杜鹃群系最次。

栖息地片断化和孤立化对灵长类动物的生存存在着显著的影响。因此,要加速恢复现有栖息地相对低海拔森林,将破碎的生境连成一片,为种群数量日益增长的神农架川金丝猴提供数量充足、营养丰富、季节上均匀的食物。

References:

- [1] Wafaa M E, Loutfy M H, Tarek M G. Floristic composition and vegetation analysis in Hail region north of central Saudi Arabia Saudi Journal of Biological Sciences, 2010,17(2):119-128
- [2] Tilman D, Reich P B, Knops J M H. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment Nature, 2006, 441: 629-632.
- [3] Sanae H, Vincent S, Jean B C. Can traditional forest management buffer forest depletion? Dynamics of Moroccan High Atlas Mountain forests using remote sensing and vegetation analysis. Forest Ecology and Management, 2010, 260(10): 1861-1872.
- [4] Bente J G, Vibeke S H. A comparison of understorey vegetation between untouched and managed deciduous forest in Denmark. Forest Ecology and Management, 1997, 96(1): 111-123
- [5] Zhang J X, Liu Z J, Sun X X. Changing landscape in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River from 1977 to 2005: Land use/land cover, vegetation cover changes estimated using multi-source satellite data Original Research Article. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2009, 11(6):403-412
- [6] Yiming Li. Terrestriality and tree stratum use in a group of Sichuan snub-nosed monkeys. Primates, 2007, 48:197-207
- [7] Yiming Li. The effect of forest clear-cutting on habitat use in Sichuan snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*) in Shennongjia Nature Reserve, China. Primates, 2004, 45:69-72
- [8] Yiming Li. The seasonal diet of the Sichuan snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*) in Shennongjia Nature Reserve, China. Folia Primatol, 2001, 72:40-43
- [9] Zhu Z Q. Ecological research of *Rhinopithecus roxellana* in Shennongjia, China, Hubei Forestry Science and Technology (zl):46-52
- [10] Tie J, Zhang J, Peng L P, Plant flora characteristics and food resources of *Rhinopithecus roxellana* habitats in Shennongjia, China. Guihaia, 2009, (6): 736-743.
- [11] Hu Z L, Zhu Z Q, Liu C H. Ecological observation on Golden Monkey in Shennongjia Natural Reserve. Chinese Journal of Ecology, 1992,11(4): 27-30.
- [12] Liu Y, Liu G C, Chen J W. Indicators for Golden monkey's habitat restoration after earthquake disaster, Journal of West China Forestry Science, 2009,38(2):33-40.
- [13] Zhou X H, Guo Z J, Xie D X, Liu J B. Vegetation type and succession of Qingyuanshan, Quanzhou, Fujian province. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2004,31(3):18-22.
- [14] Long W X, Yang X B, Li D H, Guo T, Huang Y F, Luo T. Quantitative vegetation classification of Qichai region in Hainan island. Journal of Wuhan Botanical Research, 2008,26(1):41-46.
- [15] Liu Z L, Zheng C Y, Fang J Y. Relationship between the vegetation type and topography in Mt. Xiaowutai, Hebei province: a remote sensing analysis. Biodiversity Science, 2004, 12(1):146-154.
- [16] Zhu X Q, Liu K, Qin Y M. GIS-based study of vegetation-environment gradient relationship in Qinling mountain. Journal of Soil and Water Conservation. 2006,20(5):192-196.
- [17] Zhang H R, Tang M P. Classification and succession analysis of mixed forest in Jingouling forest farm using the TWINSpan method. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2009,33(1):37-42.
- [18] Cheng X Q, Zhao F Y. Quantitative Classification and Ordination of Natural Vegetation on Abandoned Mine Land in Mentougou District, Beijing. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(11):75-79.
- [19] Qiu Y, Zhang J T. Quantitative analysis to the gradients of space and time of natural plant communities in Baishuiogou of the Guandi mountain. Chin J Appl Environ Biol. 1999(2): 13-120.

- [20] Xie C H, Yi W X, Zhou D M, Yi J F, Tan Y H. Analysis on forest vegetation types of Tai "Dragon Mountain" in Mengla County. *Forest Inventory and Planning*, 2010, 35(3):76-83.
- [21] Zhang X L, Peng L. Analysis on Vegetation types and its flora in Qingyazhai Nature Reserve. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*. 2007, 16(1):239-243.
- [22] Cui L, Gao Y H, Chen M, Chen L. Analysis on vegetation types and characteristics of Sanjiang Plain ecological functional conservation district. *Territory & Natural Resources Study*, 2008(4):85-87.
- [23] Mi X C, Zhang J T, Zhang F, Shangguan T L, Li A H, Zheng F Y. Analysis of relationships between patterns of vegetation and soil in Shanxi plateau. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(4):336-344.
- [24] Li S Q, Zhang J T. Ecological analysis of subalpine meadow in Yunding Mountain, Shanxi. *Geographical Research*, 2007, 26(1):83-90.
- [25] Kang Jie, Liu W Q, Yu F Q, Zhan Q J, Liao W B. Vegetation types and plant community characters in Bijiashan park in Shenzhen, Guangdong Province. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2005, 44(B06):10-31.
- [26] Liu Y, Li Q A, Liu W Q, Fan Q, Liao W B. The vegetation types and the analysis of main plant community in Weiling park in Shenzhen city, Guangdong Province. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2003, 42(S2):14-22.
- [27] Huang Y Y, Liu S J, Hu J Y, Liu X Q, Xu X. Gradient analysis of the representative vegetation classes in Tangjiahe Nature Reserve. *Resources and Environment in the Yang tze Basin*, 2009, 18(2):197-203.
- [28] Zhang P, Li B G, Watanabe K. Use of forest strata by Sichuan snub-nosed monkeys *Rhinopithecus roxellana* in spring and winter in Qinling Mountains, China. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(3):429-436.
- [29] Li X H, Long Y C, Long C L. Study on the habitat of *Rhinopithecus bieti* at Jinsichang, Laojun Mountains, Yunnan Province. *Life Science Research*, 2010, 14(1):44-49.

参考文献:

- [9] 朱兆泉. 神农架金丝猴生态学研究. *湖北林业科技*, 2003(z1):46-52.
- [10] 铁军, 张晶, 彭林鹏. 神农架川金丝猴栖息地植物区系特征及食物资源研究. *广西植物*, 2009, (6):736-743
- [11] 胡振林, 朱兆泉. 神农架金丝猴的生态学观察, *生态学杂志*. 1992, 11(4):27-30.
- [12] 刘瑛, 刘广超, 陈建伟. 灾后川金丝猴适宜栖息地恢复指标的研究. *西部林业科学*, 2009, 38(2):33-40.
- [13] 邹秀红, 郭志坚, 谢大显, 刘建斌. 福建泉州清源山植被类型及演替趋势分析. *福建林业科技*. 2004, 31(3):18-22.
- [14] 龙文兴, 杨小波, 李东海, 郭涛, 黄运峰, 罗涛. 海南七差地区植被数量分类. *武汉植物学研究*, 2008, 26(1):41-46.
- [15] 刘增力, 郑成洋, 方精云. 河北小五台山主要植被类型的分布与地形的关系:基于遥感信息的分析. *生物多样性*, 2004, 12(1):146-154.
- [16] 朱晓勤, 刘康, 秦耀民. 基于 GIS 的秦岭山地植被类型与环境梯度的关系分析. *水土保持学报*, 2006, 20(5):192-196.
- [17] 张会儒, 汤孟平. 金沟岭林场混交林 TWINSpan 分类及演替序列分析. *南京林业大学学报:自然科学版*, 2009, 33(1):37-42.
- [18] 程小琴, 赵方莹. 门头沟区煤矿废弃地自然恢复植被数量分类与排序. *东北林业大学学报*, 2010, 38(11):75-79.
- [19] 邱扬, 张金屯. 关帝山八水沟天然植物群落时空梯度的数量分析. *应用与环境生物学报*, 1999, 5(2):113-120.
- [20] 谢春华, 依旺香, 周冬梅, 依尖发, 谭运洪. 勐腊县傣族“龙山”森林植被类型分析. *林业调查规划*, 2010, 35(3):76-83.
- [21] 张晓丽, 彭林. 青崖寨自然保护区植被类型及其区系分析. *西北农业学报*, 2007, 16(1):239-243.
- [22] 崔玲, 高玉慧, 陈森, 陈琳. 三江平原生态功能保护区植被类型及特征分析. *国土与自然资源研究*, 2008(4):85-87.
- [23] 米湘成, 张金屯. 山西高原植被与土壤分布格局关系的研究. *植物生态学报*, 1999, 23(4):336-344.
- [24] 李素清, 张金屯. 山西云顶山亚高山草甸群落生态分析. *地理研究*, 2007, 26(1):83-90.
- [25] 康杰, 刘蔚秋, 于法钦, 答启杰, 廖文波. 深圳笔架山公园的植被类型及主要植物群落分析. *中山大学学报:自然科学版*, 2005, 44(B06):10-31.
- [26] 刘郁, 李琪安, 刘蔚秋, 凡强, 廖文波. 深圳围岭公园植被类型及主要植物群落分析. *中山大学学报(自然科学版)*, 2003, 42(S2):14-22.
- [27] 黄尤优, 刘守江, 胡进耀, 刘晓琴, 胥晓. 唐家河保护区主要植被类型景观格局的梯度分析. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(2):197-203.
- [28] 张鹏, 李保国, 渡边邦夫. 秦岭川金丝猴冬季和春季在自然栖息地的空间利用. *动物学报*, 2006, 52(3):429-436.
- [29] 李新辉, 龙勇诚, 龙春林. 云南老君山金丝厂滇金丝猴群栖息地的环境特征. *生命科学研究*, 2010, 14(1):44-49.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 23 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Maternal thermoregulation during gestation affects the phenotype of hatchling Chinese skinks (*Eumeces chinensis*): testing the maternal manipulation hypothesis LI Hong, ZHOU Zongshi, WU Yanqing, et al (7255)

Effects of conspecific and interspecific interference competitions on cache site selection of Siberian chipmunks (*Tamias sibiricus*) SHEN Zhen, DONG Zhong, CAO Lingli, et al (7264)

Characterization of ammonia volatilization from polluted river under aeration conditions: a simulation study LIU Bo, WANG Wenlin, LING Fen, et al (7270)

Diurnal activity patterns and environmental factors on behaviors of Bar-headed Geese *Anser indicus* wintering at Caohai Lake of Guizhou, China YANG Yanfeng, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (7280)

Impacts of snow cover change on soil water-heat processes of swamp and meadow in Permafrost Region, Qinghai-Tibetan Plateau CHANG Juan, WANG Gengxu, GAO Yongheng, et al (7289)

Spatial-temporal changes of urban patch wetlands in Changsha, China GONG Yingbi, JING Lei, PENG Lei, et al (7302)

Modeling of carbon and water fluxes of Qianyanzhou subtropical coniferous plantation using model-data fusion approach REN Xiaoli, HE Honglin, LIU Min, et al (7313)

Ecological compensation standard for controlling nitrogen non-point pollution from farmland: a case study of Yixing City in Jiang Su Province ZHANG Yin, ZHOU Yuchen, SUN Hua (7327)

Static toxicity evaluation of chemical wastewater by PFU microbial communities method LI Zhaoxia, ZHANG Yuguo, LIANG Huixing (7336)

Emergy evaluation of an agro-circulation system in Beijing suburb: take Jianyan village as a case study ZHOU Liandi, HU Yanxia, WANG Yazhi, et al (7346)

Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing FENG Xiaogang, SHI Hui (7355)

The dynamics of spatial and temporal changes to forested land and key factors driving change on Hainan Island WANG Shudong, OUYANG Zhiyun, ZHANG Cuiping, et al (7364)

Impact of different sowing dates on green water footprint of maize in western Jilin Province QIN Lijie, JIN Yinghua, DUAN Peili (7375)

The dynamic variation of maize (*Setaria mays* L.) population growth characteristics under cultivars-intercropped on the Loess Plateau WANG Xiaolin, ZHANG Suiqi, WANG Shuqing, et al (7383)

Effect of different planting methods on root-shoot characteristics and grain yield of summer maize under high densities LI Zongxin, CHEN Yuanquan, WANG Qingcheng, et al (7391)

Heavy metal contaminant in development process of artificial biological Soil Crusts in sand-land XU Jie, AO Yanqing, ZHANG Jingxia, et al (7402)

Effects of enhanced UV-B radiation and nitrogen on photosynthetic pigments and non-enzymatic protection system in leaves of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) FANG Xing, ZHONG Zhangcheng (7411)

Photosynthetic response of different ecotype of *Illicium lanceolatum* seedlings to drought stress and rewatering CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin, et al (7421)

Seasonal variations in the stems of *Larix principis-rupprechtii* at the treeline of the Luya Mountains DONG Manyu, JIANG Yuan, WANG Mingchang, et al (7430)

Influence of terrain on plant biomass estimates by remote sensing: a case study of Guangzhou City, China SONG Weiwei, GUAN Dongsheng, WANG Gang (7440)

Effects of exponential fertilization on biomass allocation and root morphology of *Catalpa bungei* clones WANG Lipeng, YAN Ziyi, LI Jiyue, et al (7452)

Effects of fire damages on *Larix gmelinii* radial growth at Tahe in Daxing'an Mountains, China WANG Xiaochun, LU Yongxian (7463)

A model for water consumption by mountain jujube pear-like XIN Xiaogui, WU Pute, WANG Youke, et al (7473)

Specificity of photosystems function change of two kinds of overwintering broadleaf evergreen plants ZHONG Chuanfei, ZHANG Yuntao, WU Xiaoying, et al (7483)

- Effects of drought on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Ginkgo biloba* WEI Xiaodong, CHEN Guoxiang, SHI Dawei, et al (7492)
- Numerical classification and ordination of forest communities in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Hubei Shennongjia National Nature Reserve LI Guangliang, CONG Jing, LU Hui, et al (7501)
- Impact of inorganic anions on the cadmium effective fraction in soil and its phytoavailability during salinization in alkaline soils WANG Zuwei, YI Liangpeng, GAO Wenyan, et al (7512)
- Photosynthetic adaptability of the resistance ability to weak light of 2 species *Spiraea* L. LIU Huimin, MA Yanli, WANG Baichen, et al (7519)
- Fine root longevity and controlling factors in a *Phoebe Bournei* plantation ZHENG Jinxing, HUANG Jinxue, WANG Zhenzhen, et al (7532)
- Analysis on spatial structure and scenarios of carbon dioxide emissions from tourism transportation XIAO Xiao, ZHANG Jie, LU Junyu, et al (7540)
- The hydrological response to human activities in Guishui River Basin, Beijing LIU Yuming, ZHANG Jing, WU Pengfei, et al (7549)
- Socio-economic impacts of under-film drip irrigation technology and sustainable assessment: a case in the Manas River Basin, Xinjiang, China FAN Wenbo, WU Pute, MA Fengmei (7559)
- Effects of pattern and timing of high temperature exposure on the mortality and fecundity of *Aphis gossypii* Glover on cotton GAO Guizhen, LÜ Zhaozhi, XIA Deping, et al (7568)
- Physiological responses of *Eucalyptus* trees to infestation of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle WU Yaojun, CHANG Mingshan, SHENG Shuang, et al (7576)
- Carbon storage capacity of a *Betula alnoides* stand and a mixed *Betula alnoides* × *Castanopsis hystrix* stand in Southern Subtropical China: a comparison study HE Youjun, QIN Lin, LI Zhiyong, et al (7586)
- Distribution and ecological risk assessment of 7 heavy metals in urban forest soils in Changsha City FANG Xi, TANG Zhijuan, TIAN Dalun, et al (7595)
- Review and Monograph**
- The relationship between humans and the environment at the urban-rural interface: research progress and prospects HUANG Baorong, ZHANG Huizhi (7607)
- Flux footprint of carbon dioxide and vapor exchange over the terrestrial ecosystem: a review ZHANG Hui, SHEN Shuanghe, WEN Xuefa, et al (7622)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 23 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 23 (December, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@esp.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@esp.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元