

DOI: 10.20103/j.stxb.202401090082

程铭昊, 李劲, 张溢, 丛微, 张宇, 蒋军, 黄天鹏, 梅玉娇, 李书航, 张于光. 基于 DNA 条形码技术的神农架国家公园川金丝猴食性研究. 生态学报, 2024, 44(15): 6424-6435.

Cheng M H, Li J, Zhang Y, Cong W, Zhang Y, Jiang J, Huang T P, Mei Y J, Li S H, Zhang Y G. Golden snub-nosed monkey diet research in Shennongjia National Park based on DNA barcoding technology. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(15): 6424-6435.

基于 DNA 条形码技术的神农架国家公园川金丝猴食性研究

程铭昊¹, 李 劲¹, 张 溢¹, 丛 微¹, 张 宇¹, 蒋 军², 黄天鹏², 梅玉娇², 李书航², 张于光^{1,*}

1 中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所, 生物多样性保护国家林业和草原局重点实验室, 北京 100091

2 神农架国家公园管理局, 神农架 442421

摘要: 川金丝猴湖北亚种 (*Rhinopithecus roxellana hubeiensis*) 是种群数量最少的川金丝猴 (*R. roxellana*) 亚种, 评估其食物组成及季节变化有助于了解其觅食策略和同域分布物种间的竞争关系, 对物种保护及栖息地恢复等具有重要意义。分别于 2023 年冬季 (2 月)、春季 (5 月) 和秋季 (10 月) 在神农架国家公园采集金丝猴新鲜粪便样品, 利用 DNA 宏条形码技术分析了粪便中的食源植物及其季节变化。研究共鉴别出 127 种金丝猴食源植物, 分属于 110 个属 62 个科, 科水平上相对序列丰度最高的为蔷薇科 (Rosaceae), 属水平上相对序列丰度最高的为花楸属 (*Sorbus*), 种水平上相对序列丰度最高的是地海椒 (*Archiphysalis sinensis*)。在不同季节食物组成中, 冬季有 56 种, 春季有 76 种, 秋季有 70 种, 其中春季偏好的食物为花楸属植物 (*Sorbus* sp.) (27.34%) 植物和藤山柳 (*Clematoclethra scandens*) (16.56%); 秋季偏好的食物为委陵菜 (*Potentilla chinensis*) (22.12%) 和花楸属植物 (16.52%); 冬季偏好的食物为地海椒 (33.49%) 和花楸属植物 (28.13%)。3 个季节的共有食物有 20 种, 冬季的特有食物有 16 种, 春季有 29 种, 秋季有 27 种。冬季特有食物有地海椒等, 春季特有食物有菱叶茴芹 (*Pimpinella rhomboidea*) 等, 秋季特有食物有构树 (*Broussonetia papyrifera*) 等。春季和秋季之间的重叠食物种类最多有 35 种, 春季和冬季的重叠食物种类有 32 种而冬季和秋季重叠食物种类最少仅有 28 种。不同季节食物多样性指数存在差异, 冬季食物多样性指数最低, 秋季较高, 春季最高。食物多样性的季节变化与神农架植被物候特性一致。研究结果揭示了神农架川金丝猴的食物组成和季节变化, 以及 DNA 条形码技术在食性研究中的优势和存在的问题, 为川金丝猴的种群繁育和保护管理等提供了重要参考价值。

关键词: 食性分析; DNA 条形码; 神农架国家公园; 季节变化; 川金丝猴

Golden snub-nosed monkey diet research in Shennongjia National Park based on DNA barcoding technology

CHENG Minghao¹, LI Jin¹, ZHANG Yi¹, CONG Wei¹, ZHANG Yu¹, JIANG Jun², HUANG Tianpeng², MEI Yujiao², LI Shuhang², ZHANG Yuguang^{1,*}

1 Key Laboratory of Biodiversity Conservation of National Forestry and Grassland Administration, Ecology and Nature Conservation Institute, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Shennongjia National Park Administration, Shennongjia 442421, China

Abstract: The Hubei subspecies of the golden snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana hubeiensis*) is the subspecies with the fewest population among all subspecies of golden snub-nosed monkey (*R. roxellana*). Estimating their food

基金项目: 湖北省重点研发计划项目 (2020BCA081); 中央公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (CAFYBB2021MA014)

收稿日期: 2024-02-09; **网络出版日期:** 2024-05-24

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

composition and its seasonal variation contribute to learning their foraging strategy and the competition between the sympatric species which is of great significance to species protection and their habitat restoration. The fresh fecal samples of golden snub-nosed monkeys were collected from Shennongjia National Park in winter (Feb.), spring (May.), and autumn (Oct.) of 2023. The plants for food and seasonal variation in them were analyzed by using DNA metabarcoding technology. A total of 127 plant species were identified, all plants belongs to 110 genera and 62 families. Rosaceae had the highest relative read abundance at the family level, and Sorbus had the highest relative read abundance at the genus level. The highest relative read abundance at the specie level was found in *Archiphysalis sinensis*. In the food composition of different seasons, 56 species of plants were found in winter, 76 species in spring, and 70 species in autumn. *Sorbus* sp. (27.34%) and *Clematoclethra scandens* (16.56%) were the preferred foods in spring. The preferred foods in autumn were *Potentilla chinensis* (22.12%) and *Sorbus* sp. (16.52%). In winter, the preferred food were *Archiphysalis sinensis* (33.49%) and *Sorbus* sp. (28.13%). There were 20 mutual species in the 3 seasons, 16 endemic species in winter, 29 endemic species in spring, and 27 endemic species in autumn. One of the winter endemic species is *Archiphysalis sinensis*, one of the spring endemic species is *Pimpinella rhomboidea*, and one of the autumn endemic species is *Broussonetia papyrifera*. The maximum number of mutual species was 35 between spring and autumn, 32 mutual species between spring and winter, while the minimum number of mutual species was 28 between winter and autumn. Food diversity index varied between seasons, with the lowest food diversity index in winter, higher in autumn and highest in spring. Seasonal variations in food diversity of golden snub-nosed monkeys are consistent with the phenological characteristics of the vegetation in Shennongjia National Park. The result of study revealed the dietary composition and seasonal variation of golden snub-nosed monkeys in Shennongjia National Park, as well as the advantages and problems of DNA barcoding technology in dietary research, which provided vital reference value for the population breeding, conservation management of the golden snub-nosed monkeys and the others.

Key Words: diet analysis; DNA barcoding; Shennongjia national park; seasonal variation; golden snub-nosed monkey

食性分析是动物生态学研究的重要组成部分,有助于揭示动物的饮食结构、觅食策略和栖息地选择偏好,以及评估物种生存状况和种间关系等^[1]。食性研究对于濒危野生动物的保护管理具有了解其生存威胁、制定更有效的保护策略、对同域分布物种合理划分保护区、预测其种群数量等重要意义^[2-3]。

传统的食性研究方法主要包括通过观察取食行为的野外扫描取样法、笼养饲喂法、胃内容物法、粪便显微分析法等^[3],其中扫描取样法需要长期对野生动物进行跟踪及采集植物对野生动物进行投喂,工作效率低且不能得到较完整的食物组成^[4];依赖于显微观察的显微分析法主要是观察粪便中残留的食物残渣以鉴别食物种类,由于动物消化能力的差异及研究者鉴别水平的差异无法较为准确的得到完整的食物组成^[5]。而新兴的 DNA 宏条形码技术利用动物粪便 DNA 的高通量测序结果进行物种鉴定,相较于传统的研究方法体现出鉴别效率高、结果准确率高等优势^[6]。该技术主要通过序列相似度进行物种鉴别,这对研究者的植物识别能力要求较低且不受主观因素的干扰^[7],但物种鉴别的准确率很大程度上受参考数据库的影响,不完整的参考数据库会使得 DNA 条形码的鉴别能力大幅下降^[8]。

DNA 宏条形码技术已被广泛应用于野生灵长类动物的食物组成、觅食策略、种间关系分析和物种保护等方面^[9-14]。研究发现灵长类动物不单以植物为食,还会取食节肢动物、水生生物甚至小型哺乳动物,其中鞍背怪柳猴(*Saguinus fuscicollis*)会取食蜘蛛类、甲虫类和蚁类等节肢动物以补充体内所需的蛋白质和能量^[9],研究发现日本猕猴(*Macaca fuscata*)捕食蟹类、褐鲮(*Salmo trutta*)等其他水生动物^[10],而在非洲的倭黑猩猩(*Pan paniscus*)的粪便中发现了坦桑尼亚小羚羊(*Cephalophus spadix*)等哺乳动物的 DNA,之前野外观察的结果也能证实其取食哺乳动物^[11]。基于 DNA 宏条形码技术的食性研究发现,白脸卷尾猴(*Cebus capucinus*)不同年龄或不同性别的个体通过取食不同种类的昆虫规避种内竞争^[12]。马达加斯加同域分布的 10 种灵长类

动物通过取食树冠层的不同的植物资源和节肢动物,以实现资源的合理分配及种间共存^[13]。通过研究云南怒江金丝猴(*Rhinopithecus strykeri*)的食性,对保护区内怒江金丝猴喜食的植物进行重点保护,以促进其野外种群恢复^[14]。

川金丝猴(*R. roxellana*)是我国特有的灵长类动物,属于国家一级重点保护野生动物^[15],《中国脊椎动物红色名录》易危(VU)物种^[16]。川金丝猴分化为三个亚种,其中指名亚种(*R. roxellana roxellana*)分布于四川的岷山山系和邛崃山系,秦岭亚种(*R. roxellana qinlingensis*)分布于秦岭山系,而神农架国家公园则是川金丝猴湖北亚种(*R. roxellana hubeiensis*)的唯一分布区^[17]。目前我国野生川金丝猴总数约为 23000 只,其中湖北亚种的野外种群数量最少,仅有 1500 余只,在三个亚种之中面临最大的灭绝风险^[17]。神农架金丝猴是神农架国家公园的旗舰物种和指示性物种,在维系森林群落结构与生态功能的完整性,动植物协同进化上发挥着极其重要的作用,保护和研究意义重大^[18]。目前对川金丝猴的食性研究已有较多报道,但研究方法主要为传统的野外观察法及显微分析法等,DNA 宏条形码技术尚未应用于川金丝猴的食性研究^[19–21]。

本研究以神农架国家公园的大龙潭野外川金丝猴补食群为研究对象,通过采集不同季节的川金丝猴新鲜粪便,利用 DNA 宏条形码技术分析神农架川金丝猴的食物组成及多样性的季节差异,为川金丝猴的饲喂繁育和保护管理提供参考价值。

1 研究方法

1.1 研究对象

神农架国家公园的大龙潭野外川金丝猴补食群数量约为 80 只,该猴群主要活动在大龙潭区域内的龙潭湾、三岔沟、龙林沟、观音洞等地(31.4903°—31.4916°N, 110.2974°—110.2988°E),平均海拔 2243m。该区域的植被类型为巴山冷杉(*Abies fargesii*)、华山松(*Pinus armandii*)和红桦(*Betula albosinensis*)的针阔混交林^[22]。为保证该种群的长期生存和开展川金丝猴的野外研究,在食物短缺的冬季对川金丝猴进行人工补食,补食食物包括苹果、红薯和胡萝卜等^[23]。

1.2 样品采集

于 2023 年冬季(2 月)、春季(5 月)和秋季(10 月)分别采集了川金丝猴补食群的新鲜粪便样品。采集时佩戴一次性无菌手套,将疑似金丝猴的粪便样品装入含干燥剂的收集管中,并在收集管上标注采集时间和样品编号。采集时避免在同一地点多次采集,同时收集大小、颜色不一致的粪便以确保收集到多只个体的粪便。待粪便样品干燥后放入冰箱-40℃保存,野外工作结束后带回实验室处理^[24]。共采集疑似川金丝猴粪便样品 133 份,其中冬季 50 份,春季 42 份,秋季 41 份。

1.3 样品 DNA 提取及 PCR 扩增和测序

使用 Qiagen Stool DNA 试剂盒(Qiagen, Valencia, California, USA)提取样品中的 DNA。提取完成后使用分光光度计对 DNA 溶液进行浓度和纯度的测定。

选用 Riaz 等人设计的脊椎动物通用引物 12SV5(F: TAGAACAGGCTCCTCTAG; R: TTAGATACC CCACTATGC)对样品 DNA 进行扩增用于鉴别粪便的物种来源^[25]。PCR 反应程序为 95℃预变性 3 min; 95℃变性 30 s, 60℃退火 30 s, 72℃延伸 30 s, 循环 45 次; 72℃延伸 5 min。使用植物叶绿体基因 *trnL* 片段(g: GGGCAATCCTGAGCCAA; h: CATTGACTCTCTGCACCTATC)对粪便样品中的植物 DNA 进行扩增^[26], PCR 反应程序为 95℃预变性 10 min; 95℃变性 30 s, 55℃退火 30 s, 72℃延伸 30 s, 循环 35 次; 72℃延伸 2 min。PCR 体系总体积为 20 μL: DNA 模板(10—50 ng/μL) 2 μL; 2×Taq Master Mix 10 μL; 正反向引物(10 μmol/L) 各 0.5 μL; ddH₂O 7 μL。扩增时在正向和反向的 5'端各添加 8 bp 条形码序列,以区分不同的样品。PCR 扩增产物于 Illumina HiSeq 2500 测序平台进行高通量测序,PCR 扩增及测序由广东美格基因科技有限公司完成。

1.4 测序数据处理

使用 Vsearch v2.22.1 对测序结果进行处理,首先对每个样品的正反向序列进行裁剪、拼接,将相同季节的

样品测序结果合并,并对来自不同样品的序列添加标签。之后过滤长度过长或过短的序列及累积碱基错误率高于 1%的低质量序列,然后去除重复序列及单一读数序列,再使用 uchime2 功能去除包含嵌合体的序列^[27]。去除嵌合体序列后以 97%的相似度阈值对结果进行聚类,剔除单一读数序列后将每条序列记为一个分子可操作分类单元(molecular operational taxonomic unit, MOTU)。

1.5 参考数据库的建立及物种注释

对每个各样品的 12S 条形码测序结果与 NCBI(national center for biotechnology information)的 GeneBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov>) 中川金丝猴的 12S 序列进行比对,进行粪便的物种鉴定。舍弃其他物种的粪便样品,保留川金丝猴的粪便样品进行食源植物的物种注释。

综合神农架国家公园植物名录及已有神农架川金丝猴食源植物研究结果整理出包括 1309 种植物的神农架国家公园川金丝猴食源植物参考名录^[28-29],从 GeneBank 和 EMBL(european molecular biology laboratory, <https://www.ebi.ac.uk>) 等数据库共检索到参考名录中 1185 种植物的 *trnL* 序列信息,使用 BLAST+(v2.15.0) 软件将检索到的植物序列建立为 DNA 条形码的参考数据库。

将 *trnL* 条形码测序结果与建立的植物数据库进行相似度比对,物种注释的原则为:(1)与单一物种序列的相似度 $\geq 98\%$,记为该物种(2)与多个物种序列的相似度 $\geq 98\%$ 时,记为能够涵盖所有物种 $\geq 98\%$ 的最低分类单元。(3)比对结果中,最高相似度 $< 98\%$ 且 $\geq 95\%$ 时,相似度最高序列仅有 1 条,且与得分次之的序列一致度差距 $\geq 1\%$ 时,记为相似度最高序列的上一级分类单元。最高一致度对应有多个物种时,则记为能够涵盖所有最高相似度的物种最低分类单元。(4)比对结果中,最高相似度 $< 95\%$ 时,认为无法判定该序列的分类单元,不计入食性结果^[30]。

1.6 食性分析

将同一季节的川金丝猴粪便样品测序结果合并处理得到该组的食性结果。为判断取样量是否充分,使用 R 软件 vegan 包绘制物种累积曲线图,同时计算不同组别的 Simpson 指数 D 、Shannon 指数 H 、Pielou 指数 J 以比较川金丝猴的食物多样性差异^[31]。具体计算方法如下:

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (1)$$

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$J = H / \ln S \quad (3)$$

$$P_i = R_i / \sum R_i \quad (4)$$

式中, S 为 MOTU 总数; P_i 为某 MOTU 的相对序列丰度(relative read abundance, RRA/%) ; R_i 为某组中第 i 个 MOTU 的序列读数。

2 结果

2.1 物种鉴定

采集的 133 份粪便样品均扩增出目的条带并进行物种鉴定,鉴定结果显示 127 份粪便为川金丝猴的粪便,其中冬季 50 份,春季 40 份,冬季 37 份。

2.2 神农架川金丝猴食性分析

对上述 127 份粪便样品进行 *trnL* 区域的 PCR 扩增测序,分别对 3 个季节的 MOTU 进行物种注释,共得到 127 个物种类别,其中 79 个鉴定到种水平,占比为 62%;38 个仅鉴定到属水平,占比为 30%;10 个仅鉴定到科水平,占比为 8%。不同季节的 MOTU 物种注释结果见表 1。

物种累积曲线显示样品数量大于 30 时,鉴定得到的物种数趋于稳定,因此说明本研究的样品数量足以表征金丝猴粪便中的植物种类(图 1)^[32]。

在科水平上,食物种类涵盖了 62 个科,其中相对序列丰度较高的 5 个优势科为:蔷薇科(Rosaceae, 37.70%)、猕猴桃科(Actinidiaceae, 11.33%)、茄科(Solanaceae, 8.62%)、无患子科(Sapindaceae, 4.88%)和山茱

茛科(*Cornaceae* ,4.45%)。

表 1 不同季节的 MOTU 物种注释结果

Table 1 Annotated results of MOTU species in different seasons

分类水平 Classification level	冬季 Winter	春季 Spring	秋季 Autumn	分类水平 Classification Level	冬季 Winter	春季 Spring	秋季 Autumn
种 Species	25	47	42	科 Family	6	4	5
属 Genus	25	25	23	MOTU 总数 Total number of MOTU	56	76	70

MOTU: 分子可操作分类单元 Molecular operational taxonomic unit

在属水平上,食物种类涵盖了 110 个属,其中相对序列丰度较高的 5 个优势属为:花楸属(*Sorbus* , 25.27%)、地海椒属(*Archiphysalis* , 8.73%)、藤山柳属(*Clematoclethra* , 8.63%)、委陵菜属(*Potentilla* , 8.13%)和槭属(*Acer* , 4.94%)。

在种水平上,共鉴定出 79 种食物。其中相对序列丰度较高的 5 个优势种为:地海椒(18.20%)、藤山柳(*Clematoclethra scandens*) (17.99%)、委陵菜(*Potentilla chinensis*) (16.95%)、菱叶茴芹(*Pimpinella rhomboidea*) (8.89%)和勾儿茶(*Berchemia sinica*) (7.51%)。

神农架川金丝猴不同季节的食物组成详见附表 1。

2.3 神农架川金丝猴食物组成的季节变化

不同季节川金丝猴的食物组成也有一定差异,川金丝猴在春季的偏好食物为花楸属一种(27.34%)和藤山柳(16.56%) ;秋季的偏好食物是委陵菜(22.12%)和花楸属一种(16.52%) ;冬季的偏好食物为地海椒(33.49%)和花楸属一种(28.13%)不同季节的食物组成见图 2。

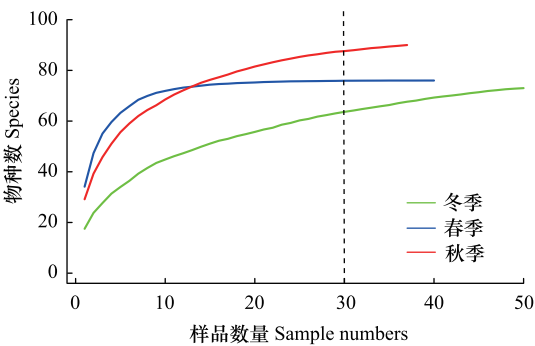


图 1 不同季节样品的物种累积曲线图

Fig.1 Species accumulation curves of samples from different seasons

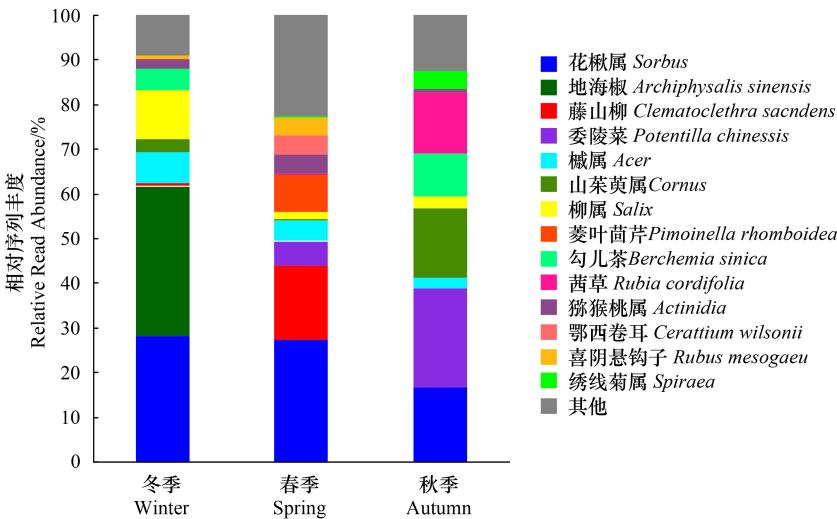


图 2 不同季节川金丝猴的食物组成

Fig.2 Food composition of golden snub-nosed monkeys in different seasons

从不同季节川金丝猴食物种类 venn 图中可以看出不同季节的食物重叠情况,3 个季节的共有食物有 20 种,冬季的特有食物有 16 种,春季有 29 种,秋季有 27 种,分别占植物总数的 15.75%、12.60%、22.83%和

21.26%。三个季节的共有食物包括勾儿茶、喜阴悬钩子 (*Rubus mesogaeus*)、湖北三毛草 (*Sibirotrisetum henryi*)、花楸属一种、槭属一种 (*Acer* sp.) 和山茱萸属一种等,冬季特有食物主要有地海椒、青荚叶 (*Helwingia japonica*)、连香树 (*Cercidiphyllum japonicum*)、云杉属一种 (*Picea* sp.) 和鼠李属一种 (*Rhamnus* sp.) 等,春季特有食物主要包括菱叶茴芹、鄂西卷耳 (*Cerastium wilsonii*)、活血丹 (*Glechoma longituba*) 和五味子属一种 (*Schisandra* sp.),秋季特有食物包括构树 (*Broussonetia papyrifera*)、栾树 (*Koelreuteria paniculata*)、枫杨 (*Pterocarya stenoptera*) 和漆树 (*Toxicodendron vernicifluum*) 等。春季和秋季之间的重叠食物种类最多有舌叶金腰 (*Chrysosplenium glossophyllum*)、委陵菜和茶藨子 (*Ribes janczewskii*) 等 35 种,春季和冬季的重叠食物种类有巴山冷杉 (*Abies fargesii*)、勾儿茶和藤山柳等 32 种而冬季和秋季重叠食物种类最少仅有宜昌橙 (*Citrus cavaleriei*)、皂荚 (*Gleditsia sinensis*) 和接骨木 (*Sambucus williamsii*) 等 28 种,分别占总数的 27.56% 和 22.83% (图 3)。

2.4 神农架川金丝猴食物多样性的季节变化

使用 R 软件 *vegan* 程序包计算不同季节川金丝猴食物的多样性指数,比较发现川金丝猴在春季的食物多样性最高,秋季次之,冬季最低。而春季的 Pielou 均匀度指数最高即食物种类分布最均匀,冬季均匀度指数最低,在 3 个季节中分布最不均匀 (表 2)。

3 讨论

研究印证了传统的神农架川金丝猴食性研究结果^[33],并进一步丰富了川金丝猴的食物组成。研究结果的食源植物种类虽小于传统食性研究的结果,但在科 (62) 和属 (110) 水平上均高于传统食性研究结果,这表明 DNA 条形码技术可能较传统的方法鉴定出更多的食源植物类群。食性结果中的地海椒、委陵菜和菱叶茴芹等草本植物在已有的川金丝猴食性研究结果中并未出

现,可能是因为显微分析法等难以鉴别粪便中残留的草本植物,而野外观察法鉴定草本植物的识别率不高,使得传统的食性结果中草本植物在川金丝猴的食物组成中占比较低^[33]。发现了神农架川金丝猴食物组成中未记录过的食物,如箭竹属植物,但在四川白河川金丝猴和白马雪山的滇金丝猴 (*R. bieti*) 食物中均发现过箭竹属植物,因此推测神农架川金丝猴可能取食箭竹属植物的叶片或者取食其竹笋^[34—35]。在梅花鹿 (*Cervus nippon*) 和豹猫 (*Prionailurus bengalensis*) 等动物的食性研究中也发现基于 DNA 条形码研究方法比传统的研究方法能够得到更丰富的食物组成^[36—37]。

食性研究结果表明神农架国家公园川金丝猴补食群的食物组成存在季节差异,冬季食物多样性维持在最低水平,春季食物多样性明显升高,秋季时又开始下降,这与神农架植物群落物候特性是一致的^[38]。在冬季,川金丝猴喜食植物的叶片、花和果实已经凋落,而且降雪过后林下的草本植物也被覆盖,川金丝猴的可获得食

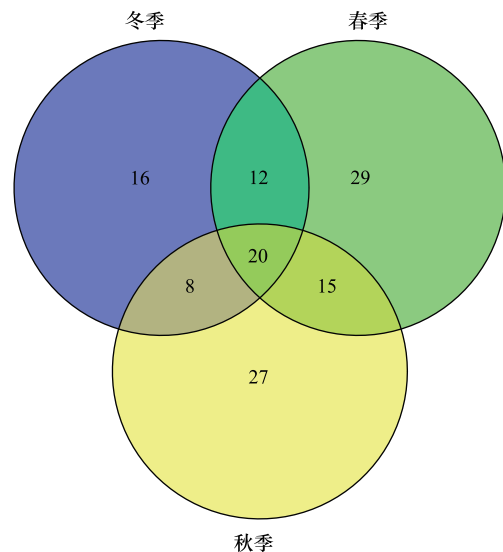


图 3 不同季节食物种类重叠分布 Venn 图

Fig.3 Venn diagram of food overlapping distribution in different seasons

表 2 川金丝猴不同季节的食物多样性指数

Table 2 Food diversity index of golden snub-nosed monkey in different seasons

季节 Seasons	Simpson 指数 Simpson	Shannon 指数 Shannon	均匀度指数 Pielou
冬季 Winter	0.787	1.996	0.496
春季 Spring	0.877	2.760	0.637
秋季 Autumn	0.868	2.447	0.576

物数量锐减。除此之外,植物的营养成分随季节的变化也对川金丝猴的食物组成造成了影响,从冬季至春季神农架川金丝猴栖息地内的植物种类和营养成分含量不断变化,致使川金丝猴的食物组成也发生变化^[39]。

建立了川金丝猴食物 DNA 条形码参考数据库,包括了神农架国家公园分布的 1185 种植物参考序列。但是数据库中缺失松萝属植物及神农架部分特有种的 *trnL* 序列片段,因此食性结果中未鉴别出金丝猴经常取食的松萝(*Usnea diffracta*)。表明建立本地植物的序列数据库相比于使用公共数据库具有更高的物种鉴别率,特别是在种和属的级别上^[40–41]。但由于序列信息均来自于公共数据库,其中存在的错误序列也会对鉴别结果造成一定影响,因此建立本地化的物种序列数据库仍是非常重要的^[42]。

DNA 条形码的选择也是影响物种鉴定分辨率的重要因素,选用的 *trnL* 为叶绿体 DNA 片段,因此仅能用于识别含叶绿体的部分植物,由于 *trnL* 条形码在同属近缘种之间的鉴别成功率较低,因此部分植物仅鉴定到属水平。鉴定出的 127 种食物中,有 60% 左右的食物鉴定到物种级别,这与所选择的 DNA 条形码鉴别率有很大关系。用于植物鉴别的条形码包括 *trnL*、*ITS*、*rbcL*、*matK* 等,不同条形码的鉴别率有所差异^[43]。表明条形码组合使用有更高的识别成功率,如 *rbcL* 和 *matK* 组合使用对物种的识别率高达 98%^[44]。因此,未来的食性研究中应选用多种条形码进行物种鉴别以提高物种鉴别精确度。

使用 DNA 条形码技术得到了神农架川金丝猴不同季节的食物组成,证实了 DNA 条形码技术在野生灵长类动物食性研究中的可行性,为植食性动物的食性研究提供了方法借鉴。基于食性结果,可以为川金丝猴野外种群的补食和笼养群的人工饲养制定更科学的食谱,同时对川金丝猴主要取食的植物重点保护,以促进其栖息地的恢复和野外种群数量的增长。本研究仍存在一定的不足,虽然在样本采集过程中通过大小、形态及采集地点尽可能地收集不同个体的粪便,但是仍可能存在来自同一个体的粪便样本,这会对研究结果的准确性造成影响。因此,使用本方法时应应对粪便样本进行个体识别,在食性分析时排除来自同一个体的粪便样本。样品采集时间仅选取了,春季、秋季和冬季三个时间段,缺少川金丝猴食物种类可能最为丰富的夏季。川金丝猴取食昆虫和脊椎动物已有报道^[45–46],还有待对其粪便中存在的动物 DNA 进行分析,以便得到更为完整的川金丝猴食物组成。

参考文献 (References):

- [1] 郭艳萍, 张浩, 赵新钢, 罗海玲, 张英俊. DNA 宏条形码技术在食草动物食性研究中的应用. 生物技术通报, 2021, 37(3): 252–260.
- [2] Galán-Acedo C, Arroyo-Rodríguez V, Andresen E, Arasa-Gisbert R. Ecological traits of the world's Primates. Scientific Data, 2019, 6(1): 55.
- [3] 程铭昊, 张于光. DNA 宏条形码技术在灵长类动物食性研究中的应用. 陆地生态系统与保护学报, 2022, 2(3): 80–86.
- [4] Cui Z W, Wang Z L, Zhang S Q, Wang B S, Lu J Q, Raubenheimer D. Living near the limits: effects of interannual variation in food availability on diet and reproduction in a temperate primate, the Taihangshan macaque (*Macaca mulatta tcheliensis*). American Journal of Primatology, 2020, 82(1): e23080.
- [5] Matthews J K, Ridley A, Kaplin B A, Grueter C C. A comparison of fecal sampling and direct feeding observations for quantifying the diet of a frugivorous primate. Current Zoology, 2020, 66(4): 333–343.
- [6] Pertoldi C, Schmidt J B, Thomsen P M, Nielsen L B, de Jonge N, Iacolina L, Muro F, Nielsen K T, Pagh S, Lauridsen T L, Andersen L H, Yashiro E, Lukassen M B, Nielsen J L, Elmeros M, Bruhn D. Comparing DNA metabarcoding with faecal analysis for diet determination of the Eurasian otter (*Lutra lutra*) in Vejlerne, Denmark. Mammal Research, 2021, 66(1): 115–122.
- [7] Pansu J, Hutchinson M C, Anderson T M, Te Beest M, Begg C M, Begg K S, Bonin A, Chama L, Chamaillé-Jammes S, Coissac E, Cromsigt J P G M, Demmel M Y, Donaldson J E, Guyton J A, Hansen C B, Imakando C I, Iqbal A, Kalima D F, Kerley G I H, Kurukura S, Landman M, Long R A, Munuo I N, Nutter C M, Parr C L, Potter A B, Siachoono S, Taberlet P, Waiti E, Kartzinel T R, Pringle R M. The generality of cryptic dietary niche differences in diverse large-herbivore assemblages. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2022, 119(35): e2204400119.
- [8] 刘山林. DNA 条形码参考数据集构建和序列分析相关的新兴技术. 生物多样性, 2019, 27(5): 526–533.
- [9] Lyke M M, Di Fiore A, Fierer N, Madden A A, Lambert J E. Metagenomic analyses reveal previously unrecognized variation in the diets of sympatric Old World monkey species. PLoS One, 2019, 14(6): e0218245.
- [10] Milner A M, Wood S A, Docherty C, Biessy L, Takenaka M, Tojo K. Winter diet of Japanese macaques from Chubu Sangaku National Park, Japan

- incorporates freshwater biota. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 23091.
- [11] Hofreiter M, Kreuz E, Eriksson J, Schubert G, Hohmann G. Vertebrate DNA in fecal samples from bonobos and gorillas: evidence for meat consumption or artefact? *PLoS One*, 2010, 5(2): e9419.
- [12] Mallott E K, Garber P A, Malhi R S. Integrating feeding behavior, ecological data, and DNA barcoding to identify developmental differences in invertebrate foraging strategies in wild white-faced capuchins (*Cebus capucinus*). *American Journal of Physical Anthropology*, 2017, 162(2): 241-254.
- [13] Rowe A K, Donohue M E, Clare E L, Drinkwater R, Koenig A, Ridgway Z M, Martin L D, Nomenjanahary E S, Zakamanana F, Randriamanandaza L J, Rakotonirina T E, Wright P C. Exploratory analysis reveals arthropod consumption in 10 lemur species using DNA metabarcoding. *American Journal of Primatology*, 2021, 83(6): e23256.
- [14] Yang Y, Groves C, Garber P, Wang X W, Li H, Long Y C, Li G S, Tian Y P, Dong S H, Yang S Y, Behie A, Xiao W. First insights into the feeding habits of the Critically Endangered black snub-nosed monkey, *Rhinopithecus strykeri* (Colobinae, Primates). *Primates*, 2019, 60(2): 143-153.
- [15] 国家林业和草原局, 农业农村部. 国家重点保护野生动物名录(2021年2月1日修订). *野生动物学报*, 2021, 42(2): 605-640.
- [16] 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹗, 张雁云, 李立立, 谢锋, 蔡波, 曹亮, 郑光美, 董路, 张正旺, 丁平, 罗振华, 丁长青, 马志军, 汤宋华, 曹文宣, 李春旺, 胡慧建, 马勇, 吴毅, 王应祥, 周开亚, 刘少英, 陈跃英, 李家堂, 冯祚建, 王燕, 王斌, 李成, 宋雪琳, 蔡蕾, 臧春鑫, 曾岩, 孟智斌, 方红霞, 平晓鸽. 中国脊椎动物红色名录. *生物多样性*, 2016 24(5): 500-551, 615.
- [17] Yu Y, He G, Li D Y, Zhao X M, Chang J, Liu X C, Xiang Z F, Li B G, Li M. Climate change challenge, extinction risk, and successful conservation experiences for a threatened primate species in China: golden snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*). *Zoological Research*, 2022, 43(6): 940-944.
- [18] 曹国斌, 朱兆泉, 杨敬元, 姚辉, 谭文赤, 刘胜祥, 余辉亮. 湖北川金丝猴现状及保护研究. *野生动物学报*, 2019, 40(3): 602-609.
- [19] Fang G, Li M, Liu X J, Guo W J, Jiang Y T, Huang Z P, Tang S Y, Li D Y, Yu J, Jin T, Liu X G, Wang J M, Li S, Qi X G, Li B G. Preliminary report on Sichuan golden snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana roxellana*) at Laohegou Nature Reserve, Sichuan, China. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 16183.
- [20] Hou R, Chapman C A, Jay O, Guo S, Li B, Raubenheimer D. Cold and hungry: combined effects of low temperature and resource scarcity on an edge-of-range temperate primate, the golden snub-nose monkey. *Ecography*, 2020, 43(1): 1672-1682.
- [21] Liu X C, Li F, Jiang J, Wang X J, Li Y M. Age-sex analysis for the diet of Sichuan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) in Shennongjia National Nature Reserve, China. *Primates*, 2016, 57(4): 479-487.
- [22] 李亭亭, 汪正祥, 龚苗, 雷耘, 林丽群, 戴璨, 任雁. 神农架国家级自然保护区川金丝猴栖息地的植物群落分类及特征. *植物科学学报*, 2016, 34(4): 563-574.
- [23] 刘峻杉, 朱遵燕, 姚辉, 杨万吉, 禹洋, 向左甫. 川金丝猴非母亲照料行为的影响因素及其母亲获益——以神农架川金丝猴投食群为例. *兽类学报*, 2021, 41(2): 144-155.
- [24] 周芸芸, 张宇, 杨万吉, 蒋军, 余辉亮, 李迪强, 张于光. 不同保存方法对川金丝猴粪便 DNA 提取效果的影响. *现代生物医学进展*, 2018, 18(1): 43-47.
- [25] Riaz T, Shehzad W, Viari A, Pompanon F, Taberlet P, Coissac E. ecoPrimers: inference of new DNA barcode markers from whole genome sequence analysis. *Nucleic Acids Research*, 2011, 39(21): e145.
- [26] Quéméré E, Hibert F, Miquel C, Lhuillier E, Rasolondraibe E, Champeau J, Rabarivola C, Nusbaumer L, Chatelain C, Gautier L, Ranirison P, Crouau-Roy B, Taberlet P, Chikhi L. A DNA metabarcoding study of a primate dietary diversity and plasticity across its entire fragmented range. *PLoS One*, 2013, 8(3): e58971.
- [27] Rognes T, Flouri T, Nichols B, Quince C, Mahé F. VSEARCH: a versatile open source tool for metagenomics. *PeerJ*, 2016, 4(1): e2584.
- [28] 谢丹, 王玉琴, 张小霜, 吴玉, 杨敬元, 张代贵. 神农架国家公园植物采集史及模式标本名录. *生物多样性*, 2019, 27(2): 211-218.
- [29] 铁军, 张晶, 彭林鹏, 杨林森, 胡德夫, 张志翔. 神农架川金丝猴栖息地优势树种生态位及食源植物. *植物生态学报*, 2009, 33(3): 482-491.
- [30] 邵昕宁, 宋大昭, 黄巧雯, 李晟, 姚蒙. 基于粪便 DNA 及宏条形码技术的食肉动物快速调查及食性分析. *生物多样性*, 2019, 27(5): 543-556.
- [31] 宫爽, 张萍, 栾雪, 包衡, 姜广顺. 粪便显微分析和 DNA 宏条形码技术在野猪食性分析中的应用和比较. *野生动物学报*, 2022, 43(3): 645-653.
- [32] 郑佳鑫, 左清秋, 王刚, 韦旭, 翁晓东, 王正寰. 藏狐的食物组成及其季节差异. *兽类学报*, 2023, 43(4): 398-411.
- [33] Li J Y, Zhang J, Tie J, Wu C K, Zhang Z X. Abundance and distribution of the diet of the Sichuan snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*) in the Shennongjia Nature Reserve in China. *Acta Theriologica Sinica*, 2015, 35(1): 14-28.

- [34] 李沂韦. 四川白河川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)的生态学研究-家域利用与食物选择[D]. 南充:西华师范大学, 2017.
- [35] 黎大勇, 任宝平, 和鑫明, 胡刚, 李保国, 李明. 白马雪山自然保护区响古箐滇金丝猴的食性. 兽类学报, 2011, 31(4): 338-346.
- [36] 黄乃莹. 基于分子粪便法和粪便显微法的梅花鹿和狍食性比较研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2023.
- [37] 滕扬, 盖立新, 李建, 房新民, 杨南, 鲍伟东. 两种分析方法在豹猫食物构成中的应用比较. 兽类学报, 2023, 43(1): 50-58.
- [38] 胡铮铮, 肖飞, 冯奇, 王立辉, 王宙. 东秦巴山地自然保护区样区植被物候的过渡特性研究. 自然保护地, 2023, 3(2): 26-33.
- [39] 铁军, 张晶, 彭林鹏, 张志翔. 神农架川金丝猴冬春季取食影响因素. 生态学杂志, 2011, 30(11): 2562-2569.
- [40] Kolter A, Gemeinholzer B. Plant DNA barcoding necessitates marker-specific efforts to establish more comprehensive reference databases. Genome, 2021, 64(3): 265-298.
- [41] 吴峰, 温佩颖, 唐志珍, 李青鉴, 朱岷, 王天明, 葛剑平, 王红芳. 东北虎豹国家公园植物 DNA 微条形码数据库. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2023, 59(4): 623-628.
- [42] Jin S, Kim K Y, Kim M S, Park C. An assessment of the taxonomic reliability of DNA barcode sequences in publicly available databases. Algae, 2020, 35(3): 293-301.
- [43] Tercel M P T G, Symondson W O C, Cuff J P. The problem of omnivory: a synthesis on omnivory and DNA metabarcoding. Molecular Ecology, 2021, 30(10): 2199-2206.
- [44] 魏亚男, 王晓梅, 姚鹏程, 陈小勇, 李宏庆. 比较不同 DNA 条形码对中国海岸带耐盐植物的识别率. 生物多样性, 2017, 25(10): 1095-1104.
- [45] Yang B, Zhang P, Garber P A, Hedley R, Li B G. Sichuan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) consume cicadas in the Qinling Mountains, China. Folia Primatologica; International Journal of Primatology, 2016, 87(1): 11-16.
- [46] 朱遵燕, 黄天鹏, 姚辉, 杨万吉, 向左甫. 神农架川金丝猴捕食矛纹草鹛雏鸟简报. 兽类学报, 2019, 39(5): 585-589.

附表 1 神农架川金丝猴食物组成

Appendix 1 Food composition of the Shennongjia golden snub-nosed monkey

科 Family	属 Genus	种 Species	冬季 Winter	春季 Spring	秋季 Autumn
松科 Pinaceae	冷杉属 Abies	巴山冷杉 <i>Abies fargesii</i>	有	有	无
毛茛科 Ranunculaceae	乌头属 Aconitum	花茛乌头 <i>Aconitum scaposum</i>	无	有	有
毛茛科 Ranunculaceae	类叶升麻属 Actaea	升麻 <i>Actaea cimicifuga</i>	无	有	有
禾本科 Poaceae	剪股颖属 Agrostis	小花剪股颖 <i>Agrostis micrantha</i>	无	无	有
伞形科 Apiaceae	峨参属 Anthriscus	峨参 <i>Anthriscus sylvestris</i>	无	有	无
毛茛科 Ranunculaceae	耬斗菜属 Aquilegia	无距耬斗菜 <i>Aquilegia ecalcarata</i>	无	有	有
茄科 Solanaceae	地海椒属 Archiphsalis	地海椒 <i>Archiphsalis sinensis</i>	有	无	无
禾本科 Poaceae	野古草属 Arundinella	野古草 <i>Arundinella hirta</i>	无	有	无
马兜铃科 Aristolochiaceae	细辛属 Asarum	单叶细辛 <i>Asarum himalaicum</i>	无	无	有
虎耳草科 Saxifragaceae	落新妇属 Astilbe	落新妇 <i>Astilbe chinensis</i>	无	有	无
小檗科 Berberidaceae	小檗属 Berberis	单花小檗 <i>Berberis candidula</i>	无	有	无
小檗科 Berberidaceae	小檗属 Berberis	假豪猪刺 <i>Berberis soulieana</i>	无	有	无
鼠李科 Rhamnaceae	勾儿茶属 Berchemia	勾儿茶 <i>Berchemia sinica</i>	有	有	有
桑科 Moraceae	构属 Broussonetia	构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	无	无	有
山茶科 Theaceae	山茶属 Camellia	茶树 <i>Camellia sinensis</i>	有	无	无
十字花科 Brassicaceae	碎米荠属 Cardamine	大叶碎米荠 <i>Cardamine macrophylla</i>	无	有	无
莎草科 Cyperaceae	薹草属 Carex	基花薹草 <i>Carex basiflora</i>	无	无	有
莎草科 Cyperaceae	薹草属 Carex	柄果薹草 <i>Carex stipitinux</i>	无	无	有
石竹科 Caryophyllaceae	卷耳属 Cerastium	鄂西卷耳 <i>Cerastium wilsonii</i>	无	有	无
连香树科 Cercidiphyllaceae	连香树属 Cercidiphyllum	连香树 <i>Cercidiphyllum japonicum</i>	有	无	无
杜鹃花科 Ericaceae	喜冬草属 Chimaphila	喜冬草 <i>Chimaphila japonica</i>	有	无	无
菊科 Asteraceae	菊属 Chrysanthemum	甘菊 <i>Chrysanthemum lavandulifolium</i>	无	无	有
虎耳草科 Saxifragaceae	金腰属 Chrysosplenium	舌叶金腰 <i>Chrysosplenium glossophyllum</i>	有	有	有
柳叶菜科 Onagraceae	露珠草属 Circaea	高原露珠草 <i>Circaea alpina</i> subsp. <i>imaicola</i>	无	有	有
菊科 Asteraceae	蓟属 Cirsium	刺儿菜 <i>Cirsium arvense</i> var. <i>integrifolium</i>	无	有	无
芸香科 Rutaceae	柑橘属 Citrus	宜昌橙 <i>Citrus cavaleriei</i>	有	无	有
毛茛科 Ranunculaceae	铁线莲属 Clematis	毛蕊铁线莲 <i>Clematis lasiantha</i>	无	有	有
猕猴桃科 Actinidiaceae	藤山柳属 Clematoclethra	藤山柳 <i>Clematoclethra scandens</i>	有	有	无
唇形科 Lamiaceae	风轮菜属 Clinopodium	风轮菜 <i>Clinopodium chinense</i>	无	有	无
罂粟科 Papaveraceae	紫堇属 Corydalis	神农架紫堇 <i>Corydalis ternatifolia</i>	无	有	有
禾本科 Poaceae	鸭茅属 Dactylis	鸭茅 <i>Dactylis glomerata</i>	无	有	有
蔷薇科 Rosaceae	金露梅属 Dasiphora	金露梅 <i>Dasiphora fruticosa</i>	无	无	有
禾本科 Poaceae	野青茅属 Deyeuxia	野青茅 <i>Deyeuxia pyramidalis</i>	无	有	无
薯蓣科 Dioscoreaceae	薯蓣属 Dioscorea	穿龙薯蓣 <i>Dioscorea nipponica</i>	无	无	有
蔷薇科 Rosaceae	蛇莓属 Duchesnea	蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>	无	无	有
柳叶菜科 Onagraceae	柳叶菜属 Epilobium	柳叶菜 <i>Epilobium hirsutum</i>	有	有	有
牻牛儿苗科 Geraniaceae	老鹳草属 Geranium	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>	无	有	有
唇形科 Lamiaceae	活血丹属 Glehoma	活血丹 <i>Glehoma longituba</i>	无	有	无
豆科 Fabaceae	皂荚属 Gleditsia	皂荚 <i>Gleditsia sinensis</i>	有	无	有
豆科 Fabaceae	大豆属 Glycine	野大豆 <i>Glycine soja</i>	有	有	有
青菜叶科 Helwingiaceae	青菜叶属 Helwingia	中华青菜叶 <i>Helwingia japonica</i>	有	无	无
金丝桃科 Hypericaceae	金丝桃属 Hypericum	元宝草 <i>Hypericum sampsonii</i>	无	有	无
凤仙花科 Balsaminaceae	凤仙花属 Impatiens	神农架凤仙花 <i>Impatiens shennongensis</i>	无	无	有
无患子科 Sapindaceae	栲属 Koelreuteria	栲树 <i>Koelreuteria paniculata</i>	无	无	有
忍冬科 Caprifoliaceae	忍冬属 Lonicera	忍冬 <i>Lonicera japonica</i>	有	有	无

续表

科 Family	属 Genus	种 Species	冬季 Winter	春季 Spring	秋季 Autumn
灯芯草科 Juncaceae	地杨梅属 Luzula	散序地杨梅 <i>Luzula effusa</i>	无	有	无
报春花科 Primulaceae	珍珠菜属 Lysimachia	显苞过路黄 <i>Lysimachia rubiginosa</i>	有	有	无
天门冬科 Asparagaceae	舞鹤草属 Maianthemum	管花鹿药 <i>Maianthemum henryi</i>	无	有	无
禾本科 Poaceae	乱子草属 Muhlenbergia	多枝乱子草 <i>Muhlenbergia ramosa</i>	无	有	无
石竹科 Caryophyllaceae	齿缀草属 Odontostemma	神农架齿缀草 <i>Odontostemma shennongjiaense</i>	无	有	无
酢浆草科 Oxalidaceae	酢浆草属 Oxalis	白花酢浆草 <i>Oxalis acetosella</i>	无	有	无
泡桐科 Paulowniaceae	泡桐属 Paulownia	毛泡桐 <i>Paulownia tomentosa</i>	有	无	无
景天科 Crassulaceae	费菜属 Phedimus	费菜 <i>Phedimus aizoon</i>	无	有	无
芸香科 Rutaceae	黄檗属 Phellodendron	川黄檗 <i>Phellodendron chinense</i>	有	无	有
绣球花科 Hydrangeaceae	山梅花属 Philadelphus	山梅花 <i>Philadelphus incanus</i>	无	有	无
绣球花科 Hydrangeaceae	山梅花属 Philadelphus	绢毛山梅花 <i>Philadelphus sericanthus</i>	无	有	无
荨麻科 Urticaceae	冷水花属 Pilea	粗齿冷水花 <i>Pilea sinofasciata</i>	无	无	有
伞形科 Apiaceae	茴芹属 Pimpinella	菱叶茴芹 <i>Pimpinella rhomboidea</i>	无	有	无
蔷薇科 Rosaceae	委陵菜属 Potentilla	委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	无	有	有
胡桃科 Juglandaceae	枫杨属 Pterocarya	枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	无	无	有
壳斗科 Fagaceae	栎属 Quercus	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	有	无	无
鼠李科 Rhamnaceae	猫乳属 Rhamnella	猫乳 <i>Rhamnella franguloides</i>	有	无	有
茶藨子科 Grossulariaceae	茶藨子属 Ribes	茶藨子 <i>Ribes janczewskii</i>	有	有	有
十字花科 Brassicaceae	蔊菜属 Rorippa	蔊菜 <i>Rorippa indica</i>	无	有	无
茜草科 Rubiaceae	茜草属 Rubia	茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	无	有	有
蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 Rubus	喜阴悬钩子 <i>Rubus mesogaeus</i>	有	有	无
荚蒾科 Viburnaceae	接骨木属 Sambucus	接骨木 <i>Sambucus williamsii</i>	有	无	有
五味子科 Schisandraceae	五味子属 Schisandra	毛叶五味子 <i>Schisandra pubescens</i>	有	无	无
五味子科 Schisandraceae	五味子属 Schisandra	红花五味子 <i>Schisandra rubriflora</i>	无	无	有
禾本科 Poaceae	三毛草属 Sibirotrisetum	湖北三毛草 <i>Sibirotrisetum henryi</i>	有	有	有
石竹科 Caryophyllaceae	繁缕属 Stellaria	簕姑草 <i>Stellaria vestita</i>	无	有	有
蔷薇科 Rosaceae	红果树属 Stranvaesia	波叶红果树 <i>Stranvaesia davidiana</i> var. <i>undulata</i>	无	无	有
漆树科 Anacardiaceae	漆树属 Toxicodendron	漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	无	无	有
百合科 Liliaceae	油点草属 Tricyrtis	黄花油点草 <i>Tricyrtis pilosa</i>	无	无	有
忍冬科 Caprifoliaceae	缬草属 Valeriana	缬草 <i>Valeriana officinalis</i>	无	有	无
荚蒾科 Viburnaceae	荚蒾属 Viburnum	球核荚蒾 <i>Viburnum propinquum</i>	有	有	无
堇菜科 Violaceae	堇菜属 Viola	鸡腿堇菜 <i>Viola acuminata</i>	无	无	有
堇菜科 Violaceae	堇菜属 Viola	深圆齿堇菜 <i>Viola davidii</i>	无	无	有
堇菜科 Apiaceae	堇菜属 Viola	乌泡连 <i>Viola vaginata</i>	无	有	有
无患子科 Sapindaceae	槭属 Acer		有	有	有
猕猴桃科 Actinidiaceae	猕猴桃属 Actinidia		有	有	有
桔梗科 Campanulaceae	沙参属 Adenophora		无	有	无
菊科 Asteraceae	蒿属 Artemisia		有	有	有
菊科 Asteraceae	紫菀属 Aster		有	有	有
豆科 Fabaceae	黄芪属 Astragalus		无	无	有
桦木科 Betulaceae	桦木属 Betula		有	有	有
桦木科 Betulaceae	鹅耳枥属 Carpinus		有	有	有
卫矛科 Celastraceae	南蛇藤属 Celastrus		有	有	有
桔梗科 Campanulaceae	党参属 Codonopsis		无	有	无

续表

科 Family	属 Genus	种 Species	冬季 Winter	春季 Spring	秋季 Autumn
山茱萸科 Cornaceae	山茱萸属 Cornus		有	有	有
蓝果树科 Nyssaceae	珙桐属 Davidia		无	无	有
五加科 Araliaceae	五加属 Eleutherococcus		有	有	无
卫矛科 Celastraceae	卫矛属 Euonymus		有	有	有
壳斗科 Fagaceae	水青冈属 Fagus		有	无	无
禾本科 Poaceae	箭竹属 Fargesia		有	有	有
绣球花科 Hydrangeaceae	绣球属 Hydrangea		有	有	有
唇形科 Lamiaceae	香茶菜属 Isodon		无	有	无
桑科 Moraceae	桑属 Morus		有	无	无
藜芦科 Melanthiaceae	重楼属 Paris		无	无	有
松科 Pinaceae	云杉属 Picea		有	无	无
松科 Pinaceae	松属 Pinus		有	有	无
杨柳科 Salicaceae	杨属 Populus		有	无	有
蔷薇科 Rosaceae	李属 Prunus		有	有	无
鼠李科 Rhamnaceae	鼠李属 Rhamnus		有	无	无
杜鹃花科 Ericaceae	杜鹃属 Rhododendron		有	无	无
蔷薇科 Rosaceae	蔷薇属 Rosa		无	无	有
清风藤科 Sabiaceae	清风藤属 Sabia		无	无	有
杨柳科 Salicaceae	柳属 Salix		有	有	有
伞形科 Apiaceae	变豆菜属 Sanicula		无	有	无
菊科 Asteraceae	风毛菊属 Saussurea		有	有	无
五味子科 Schisandraceae	五味子属 Schisandra		无	有	无
菝葜科 Smilacaceae	菝葜属 Smilax		无	有	有
蔷薇科 Rosaceae	花楸属 Sorbus		有	有	有
蔷薇科 Rosaceae	绣线菊属 Spiraea		无	有	有
毛茛科 Ranunculaceae	唐松草属 Thalictrum		无	有	有
锦葵科 Malvaceae	椴属 Tilia		有	无	有
松科 Pinaceae	铁杉属 Tsuga		有	无	无
伞形科 Apiaceae			有	有	无
马兜铃科 Aristolochiaceae			无	无	有
菊科 Asteraceae			有	有	无
唇形科 Lamiaceae			有	无	无
樟科 Lauraceae			有	有	无
木樨科 Oleaceae			有	无	无
禾本科 Poaceae			无	无	有
蔷薇科 Rosaceae			无	无	有
虎耳草科 Saxifragaceae			无	有	有
葡萄科 Vitaceae			有	无	有