

DOI: 10.5846/stxb202203010485

邓云丹, 牛鑫, 和育超, 胡善斌, 李延鹏, 黄志旁, 崔亮伟, 肖文. 云南拉沙山黑白仰鼻猴对种子传播潜力的评估. 生态学报, 2023, 43(10): 4066-4073.

Deng Y D, Niu X, He Y C, Hu S B, Li Y P, Huang Z P, Cui L W, Xiao W. Evaluation of the seed dispersal ability of *Rhinopithecus bieti* in M. Lasha, Yunnan. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(10): 4066-4073.

云南拉沙山黑白仰鼻猴对种子传播潜力的评估

邓云丹^{1,2}, 牛鑫¹, 和育超³, 胡善斌³, 李延鹏^{1,4,6}, 黄志旁^{1,4,5,*}, 崔亮伟^{2,4}, 肖文^{1,4,5,6}

1 大理大学东喜玛拉雅研究院, 大理 671003

2 西南林业大学云南省高校极小种群野生动物保育重点实验室, 昆明 650224

3 兰坪云岭省级自然保护区管护局, 兰坪 671400

4 云岭滇金丝猴云南省野外科学观测研究站, 大理 671003

5 国际生物多样性与灵长类保护中心, 大理 671003

6 大理大学三江并流区域生物多样性保护与利用云南省创新团队, 大理 671003

摘要: 灵长类是森林生态系统中植物种子的主要传播者, 有助于森林植被的更新, 然而受研究方法的限制, 灵长类种子传播潜力常被低估。为全面评估温带灵长类动物的种子传播潜力, 采用直接观察法和粪便分析法评估珍稀濒危灵长类动物黑白仰鼻猴的种子传播潜力。于 2018 年 11 月—2019 年 10 月采用直接观察法 (瞬时扫描取样法) 收集云岭省级自然保护区拉沙山黑白仰鼻猴的活动时间分配数据, 获取每月取食果实的比例; 同时每月收集黑白仰鼻猴的粪便, 采用粪便分析法分拣猴粪中残留的植物种子, 统计有完整种子残留的月份和粪便比例, 应用这两种方法评估黑白仰鼻猴种子传播潜力及其差异。结果表明: 直接观察法收集到黑白仰鼻猴取食果实的月份数为 6 个月 (7—12 月), 月均取食果实的比例为 (15.31±20.15)%, 共取食 13 种植物果实; 而粪便分析法发现黑白仰鼻猴粪粒内全年都有完整种子残留, 粪便中月均完整种子残留比例 (35.19±35.43)%, 其中 9 月至第二年 1 月粪便中种子残留比例都大于 50%, 共取食 18 种植物果实; 综合两种方法发现云南拉沙山黑白仰鼻猴共取食 20 种植物果实, 具有较高的种子传播潜力。直接观察法可确定黑白仰鼻猴取食果实的物种数, 而粪便分析法能反映其可传播的物种和数量, 并发现黑白仰鼻猴全年都取食果实, 增加了对黑白仰鼻猴果实性比例和种子传播月份的认识。因此, 建议结合两种方法全面评估黑白仰鼻猴及其它灵长类物种的种子传播潜力, 从而更好地评估其对植物种子传播的有效性以及对森林生态系统更新的贡献, 为认识灵长类通过种子传播提升森林生态系统更新能力提供新的视角。

关键词: 黑白仰鼻猴; 种子传播潜力; 粪便分析法; 直接观察法; 拉沙山

Evaluation of the seed dispersal ability of *Rhinopithecus bieti* in M. Lasha, Yunnan

DENG Yundan^{1,2}, NIU Xin¹, HE Yuchao³, HU Shanbin³, LI Yanpeng^{1,4,6}, HUANG Zhipang^{1,4,5,*}, CUI Liangwei^{2,4}, XIAO Wen^{1,4,5,6}

1 Institute of Eastern-Himalaya Biodiversity Research, Dali University, Dali 671003, China

2 Key Laboratory of Extremely Small Populations of Wildlife in Yunnan, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

3 Management and Protection Bureau of Yunling Provincial Nature Reserve in Lanping County, Lanping 671400, China

4 Yunling black-and-white snub-nosed monkey observation and research station of Yunnan province, Dali 671003, China

5 International Centre of Biodiversity and Primates Conservation, Dali University, Dali 671003, China

6 The Provincial Innovation Team of Biodiversity Conservation and Utility of the Three Parallel Rivers Region from Dali University, Dali 671003, China

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31860168, 31772474); 云南省高层次人才计划 (YNWR-QNBJ-2019-262, YNWR-CYJS-2018-052)

收稿日期: 2022-03-01; **采用日期:** 2023-03-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangzp@eastern-himalaya.cn

Abstract: Primates are a main disperser of plant seeds in forest ecosystem, which contribute to the regeneration of forest vegetation. However, due to the limitation of research methods, the potential of primates seed dissemination are often underestimated. In order to fully understand the seed dispersal ability of primates in temperate forest, we evaluated the seed dispersal ability of a rare and endangered primate species black-and-white snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using two methods. We used direct observation method (instantaneous scanning sampling method) to collect the activity time budget data of *R. bieti* in Mt. Lasha within Yunling Provincial Nature Reserve, Yunnan, China from Nov., 2018 to Oct., 2019, and counted percentage of time spent on fruits by month. At the same time, we collected the feces of *R. bieti* and sorted out plant seeds in feces, and counted percentage of feces with seed residues each month. Then we evaluated seed dispersal ability of *R. bieti* of the above two methods and their differences. Our results found that the number of months of fruit feeding by *R. bieti* was 6 months (Jul.—Dec.) according to direct observation method, with an average time spent on fruits was $(15.31 \pm 20.15)\%$, and a total 13 species of fruits were eaten. However, fecal analysis method showed that seed residue in feces of *R. bieti* were detected throughout the year, and the average percentage of feces with seed residue was $(35.19 \pm 35.43)\%$, of which the percentage of seed residues in feces was more than 50%, and a total of 18 species of fruits were eaten, from September to January of the following year. Based on the two methods, the *R. bieti* fed total 20 plant species of fruits in Mt. Lasha, indicated that *R. bieti* had a high ability of seed dispersal. The direct observation method could determine the number of species of fruits consumed by *R. bieti*, while the fecal analysis method could reflect the number of species and number of seeds that dispersed by *R. bieti*. We also found that *R. bieti* ate fruits all year round, which increased the understanding of the fruit sex ratio and the month of seed dispersal of *R. bieti*. Therefore, our study suggested that we can comprehensively evaluate the seed dispersal ability of *R. bieti* and other primate species by combination of two methods, which will be benefit to evaluate their effectiveness in plant seed dispersal and their contribution to forest ecosystem regeneration, and provided a new perspective of understanding that primates could promote the ability of forest ecosystem regeneration through seed dispersal.

Key Words: *Rhinopithecus bieti*; seed dispersal ability; fecal analysis method; direct observation method; Mt. Lasha

种子传播是指植物的种子受外力作用而离开母株,扩散到适宜生境成功萌发且能生长繁殖,并实现定居的过程^[1]。其最有效的方式为:动物将种子吞食,在不破坏种子活力的条件下,经消化道作用随粪便排出从而传播至他处^[2-3]。种子传播(扩散)具有重要的生态功能:传播使种子到达新的适宜生境,可避免与母树及其附近幼苗的竞争,有利于植物间的基因流动,影响植物群落组成,对维持植物种群大小和植物群落物种丰富度起关键作用^[4-6]。

食果动物与种子传播的研究是生态学研究的重要方向^[7],灵长类是森林生态系统中三大肉食性种子传播者之一(鸟类、蝙蝠和灵长类)^[8]。灵长类取食植物果实,通过粪便将种子排放到栖息地(午休地和过夜地),形成种子域;相对于鸟类和蝙蝠类,灵长类肠道传播对植物种子传播具有重要促进作用^[9-11]。有研究发现鸟类、啮齿类及蝙蝠一般取食大型植物的果实^[12-13],虽然啮齿动物会对掉落在地上的果实进行二次传播,但这不足以对植物种子的分布格局产生巨大的影响,而灵长类则会取食大型植物果实,并将其种子带离母树,进而影响大型果实种子的分布格局^[14-15]。比如,哥伦比亚奎瓦国家公园的绒毛猴(*Lagothrix lagotricha*)对于大型果实的传播频率很高,且能够在颊囊内分离果肉和种子^[16]。灵长类的种子传播对森林植被的更新及植物幼苗的建成有专属的作用,种子传播生态功能是无法被其它食果动物替代的。因此,了解灵长类动物种子传播的有效性(数量、距离和萌发率),既有助于探讨森林生态系统中动植物间的互作关系,又可明确灵长类动物对森林植被更新的贡献。

种子传播有效性是评估动物对植物更新贡献的关键指标,可直观地反映植物与生境中各种传播动物之间的互惠关系,通常从传播数量和传播质量(传播距离和萌发率)两方面进行评估^[17]。食果鸟类传播种子的

数量是访问目标母树的频次与其每次访问所传播种子数量的乘积^[18],传播数量决定了种子获得潜在萌发的机会,影响着植物潜在的更新能力^[19]。评价植物的种子传播数量需剖析食果动物的取食行为^[19-20]。目前,已有多种方法用于评价食果动物的种子传播潜力,例如:直接观察法、粪便分析法、同位素标记法、金属标记法等。直接观察法是用肉眼、望远镜等,直接观察目标动物取食、收集、搬运和贮藏种子和果实,其简单有效、成本低、应用广泛,但劳动强度大和耗时,受目视距离的限制,观察范围比较局限,很难记录到长距离的种子(果实)散布事件^[21]。粪便分析法已是国际通用的一种食性检测方法^[22],可准确地区分出动物取食植物后能排出完整种子的种类及数量,虽然动物对某一食物的喜食性与粪便当中该物质的残留量不成正比^[23],但能准确反映动物消化道可传播种子的种类和数量。

中国灵长类的种子传播研究因受野外工作时间长、难以收集粪便和复杂的种子萌发实验等因素影响,仅有极少关于灵长类种子传播的研究^[24-26]。如通过直接观察和收集长臂猿粪便确定西黑冠长臂猿(*Nomascus concolor*)取食的果实种类和数量^[24];基于野外粪便分析和人工笼养投喂等方式获得川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)的种子肠道滞留时间和种子损坏率^[27],这两项研究初步确定西黑冠长臂猿和川金丝猴是有效的种子传播者。然而对于分布于温带森林生态系统的黑白仰鼻猴种子传播生态功能的关注较少。黑白仰鼻猴(*Rhinopithecus bieti*)为我国的旗舰物种,然而对其保护呼吁的重点在其可爱和性感红唇,忽视了其生态功能,因此,开展其种子传播潜力研究将为其保护提供生态功能的视角。关于黑白仰鼻猴的种子传播生态功能研究较少,大部分研究仅关注其食性及取食的食物部位^[28-32],仅有李宁等于2008—2015年通过在夜栖地和午休地收集粪便分析拉沙山黑白仰鼻猴种子传播特点^[33],但仍不能评估黑白仰鼻猴种子传播的物种数和数量,其传播的种子种类和数量等尚不明确。以往评估种子传播数量是通过动物取食频次和每次取食数量的乘积来计算^[19],而黑白仰鼻猴取食果实时会破坏部分种子,取食频次和每次取食数量并不能真正反映传播的数量。因此,本研究拟通过直接观察法和粪便分析法对云岭省级自然保护区拉沙山黑白仰鼻猴种子传播有效性(传播数量)进行评估,从取食的物种数和粪便残留物种数量两方面评价黑白仰鼻猴种子传播潜力。

1 方法

1.1 研究区

研究地点位于云南省怒江傈僳族自治州兰坪县云岭省级自然保护区拉沙山(99°15'E, 26°20'N),位于横断山脉南缘云岭山系的中部。拉沙山对云岭山脉动植物南上北下的交流和过渡起着重要的连接作用,是中国“三江并流”世界自然遗产地、国家级风景名胜区的重要组成部分^[34]。主要保护对象为以黑白仰鼻猴和须弥红豆杉(*Taxus wallichiana*)等为代表的珍稀濒危野生动植物及其栖息环境,以及以杜鹃(*Rhododendron* spp.)为代表的高山花卉种质资源地、原始森林生态系统和兰坪县城周边重要的水源涵养地^[34]。主要植被类型为暗针叶林、针阔混交林、阔叶落叶林和常绿阔叶林,年均降雨量为910 mm,85%的降雨出现在5—10月,全年可分为干季和湿季^[33]。

1.2 研究对象

黑白仰鼻猴分布于云岭山脉狭长区域(98°37'—99°41'E, 26°14'—29°20'N),东以金沙江为界,西至澜沧江东侧,南起云南省云龙县,北至西藏自治区芒康县,主要分布于云南省云龙、兰坪、玉龙、维西、德钦、剑川及西藏芒康等县份^[35]。黑白仰鼻猴猴群活动区域的主要植被类型为落叶阔叶林、针阔混交林、暗针叶林和针叶林^[36],地衣是其最主要的食物,果实性植物也是其重要的食物^[33];猴群活动范围大,日移动距离为168—3084 m^[37]。本研究的对象为云岭省级自然保护区的拉沙山猴群。

1.3 数据收集与分析

1.3.1 直接观察法

2018年11月—12月、2019年2月—10月,每天自猴群离开过夜地起至猴群进入过夜地休息为止跟踪猴群,在猴群活动区域对面的开阔区域用单筒望远镜观察猴群,采用瞬时扫描取样法^[33],每隔20 min收集1次

所观察到的黑白仰鼻猴个体行为,有取食行为时记录取食部位和种类。

1.3.2 粪便分析法

2018 年 11 月—2019 年 10 月 (2019 年 7 月未收集到粪便样本,于 2021 年 7 月对数据进行了补充),跟踪猴群,待其排便后,用自封袋收集其粪便,标记采集时间及地点并带回实验室。用清水浸泡至粪便散开,再用 0.5 mm 的筛网进行清洗^[34],后放到解剖盘中分拣出粪便中残留的所有种子(含种子残渣和种皮),自然晾干后装入自封袋进行保存,标记分拣日期、浸泡时长。分别统计每粒粪便中种子有无情况、残留种子的总数、完整种子数、非完整种子数、物种数等信息。在猴群活动区域采集植物果实,在实验室进行解剖,清除果肉后拍照留档并记录物种信息,用于比对粪便中的种子的物种信息。

1.3.3 数据分析

统计黑白仰鼻猴每月食果频次占取食频次的比例,及各个月份直接观察记录到的黑白仰鼻猴取食的植物果实物种数。统计 2018 年 11 月—2019 年 10 月每月粪便总数及有完整种子粪便数、有完整种子的粪便比率(有完整种子粪便粒数/挑洗粪便粒数)和残留的植物种子物种数。

2 结果

2.1 直接观察评估种子传播潜力

共观察到黑白仰鼻猴取食植物 11513 次,其中取食果实 2119 次,每月平均食果比例为 $(15.31 \pm 20.15)\%$ 。仅在 7—12 月有果实取食行为,共取食 13 种果实。8—11 月的食果比例及物种数较多,2019 年 9 月食果比例和果实物种数达到高峰,分别为 50.58% 和 13 种。食果比例低的月份物种数少,食果比例高的月份物种数多(表 1)。

表 1 2018 年 11 月—2019 年 10 月直接观察法收集到黑白仰鼻猴的果实取食时间比例及物种数

Table 1 The percentage of time spent on fruits and the number of species consumed by *Rhinopithecus bieti* according to direct observation method from Nov. 2018 to Oct. 2019

时间(年-月) Time	取食频次/次 Feeding frequency	食果频次/次 Fruit-eating frequency	食果比例/% Fruit-eating ratio	物种数/种 Number of species
2018-11	748	140	18.72	6
2018-12	1226	42	3.43	3
2019-02	784	0	0.00	0
2019-03	1280	0	0.00	0
2019-04	681	0	0.00	0
2019-05	1434	0	0.00	0
2019-06	874	0	0.00	0
2019-07	271	32	11.81	3
2019-08	1255	458	36.49	11
2019-09	1384	700	50.58	13
2019-10	1576	747	47.40	8
平均值±标准偏差 Mean±SD	1046.64±399.68	192.64±295.29	15.31±20.15	4.00±4.82

2.2 粪便分析评估种子传播潜力

2018 年 11 月 8 日—2019 年 10 月 27 日及 2021 年 7 月收集的粪便中均有完整种子,共挑洗黑白仰鼻猴粪便 9596 粒,有 4236 粒粪便挑洗出完整种子,有完整种子的粪便比率为 $35.19\% \pm 35.43\%$,共分拣出植物种子 18 种(图 1)。2019 年 10 月分拣出完整种子的粪便比率最高,为 89.40%;2—6 月黑白仰鼻猴取食果实较少,分拣出完整种子的粪便比率较低。其中 9 月至第二年 1 月,分拣出完整种子的粪便比率均大于 50%。粪便种子残留显示食果高峰期为 8—12 月,物种数在 8—12 月、1 月较多,8 月份分拣出植物物种数最多,为 12 种,有

完整种子残留的粪便比率高的月份分拣出的植物物种数多（表 2）。

表 2 2018 年 11 月—2019 年 10 月粪便分析法收集到黑白仰鼻猴有种子残留的粪便比例及物种数

Table 2 Percentage of feces with seed residence and number of species of fruits consumed by *Rhinopithecus bieti* according to fecal analysis method form Nov. 2018 to Oct. 2019

时间(年-月) Time	每月粪便总数/粒 Total amount of feces per month	有完整种子的 粪便数/粒 Number of feces with intact seeds	有完整种子的 粪便比率/% The fecal ratio with intact seeds	完整种子数/颗 Number of full seeds	物种数/种 Number of species
2018-11	1248	810	64.90	2316	9
2018-12	1696	974	57.43	2778	9
2019-01	889	775	87.18	5829	6
2019-02	633	96	15.17	270	3
2019-03	543	3	0.55	18	2
2019-04	544	1	0.18	1	1
2019-05	953	5	0.52	25	2
2019-06	266	6	2.26	10	2
2021-07	127	2	1.57	7	5
2019-08	1854	916	49.41	4326	12
2019-09	296	159	53.72	780	5
2019-10	547	489	89.40	2327	9
平均值±标准偏差 Mean±SD	799.67±552.79	353.00±407.08	35.19±35.43	1557.25±1971.84	5.42±3.61



图 1 2018 年 11 月—2019 年 10 月粪便分析法收集到的黑白仰鼻猴取食的种子

Fig.1 The seed residue in feces of black-and-white snub-nosed monkey detected by fecal analysis method Nov. 2018 to Oct. 2019

2.3 综合评估黑白仰鼻猴种子传播潜力及其差异

综合两种方法发现黑白仰鼻猴种子传播物种数量不同,主要为取食果实的月份和取食果实种类有差异。从取食果实的月份来看,直接观察法 11 个月中仅有 6 个月记录到黑白仰鼻猴取食了果实类食物,而粪便分析法发现 12 个月都有取食果实类食物;从取食果实类食物物种数来看,粪便分析法的物种总数大于直接观察法的物种总数 (18 Vs. 13)。直接观察法记录到黑白仰鼻猴取食的 13 种植物隶属于 6 科 9 属 (表 3);通过粪便分析法发现黑白仰鼻猴消化道传播的 18 个形态种,其中已鉴定有 9 种,隶属于 6 科 8 属 (表 4)。总之,结合两种方法发现黑白仰鼻猴可传播种子的植物种类共 20 种。

表 3 2018 年 11 月—2019 年 10 月直接观察法收集到拉沙山黑白仰鼻猴取食果实的物种

Table 3 Number fruit species consumed by the black and white supine monkeys collected by direct observation method in Mt. Lasha from Nov. 2018 to Oct. 2019

编号 Number	科 Family	属 Genus	种 Species
1	五加科	五加属	吴茱萸五加 <i>Gamblea ciliata</i> var. <i>evodiifolia</i>
2	猕猴桃科	猕猴桃属	紫果猕猴桃 <i>Actinidia arguta</i>
3	山茱萸科	灯台树属	灯台树 <i>Cornus controversa</i> Hemsley
4	蔷薇科	花楸属	梯叶花楸 <i>Sorbus scalaris</i> Koehne
5	蔷薇科	花楸属	少齿花楸 <i>Sorbus oligodonta</i>
6	蔷薇科	花楸属	疣果花楸 <i>Sorbus corymbifera</i>
7	蔷薇科	花楸属	康藏花楸 <i>Sorbus tibetica</i>
8	蔷薇科	花楸属	大果花楸 <i>Sorbus megalocarpa</i> Rehd
9	木兰科	五味子属	红花五味子 <i>Schisandra rubriflora</i>
10	山茱萸科	山茱萸属	川鄂山茱萸 <i>Cornus chinensis</i> Wanger
11	忍冬科	荚蒾属	桦叶荚蒾 <i>Viburnum betulifolium</i> Batal
12	蔷薇科	稠李属	细齿稠李 <i>Padus obtusata</i>
13	蔷薇科	李属	毛樱桃 <i>Prunus tomentosa</i>

表 4 2018 年 11 月—2019 年 10 月粪便分析法收集到拉沙山黑白仰鼻猴取食果实的物种

Table 4 Number fruit species consumed by the black and white supine monkeys collected by fecal analysis method in Mt. Lasha from Nov. 2018 to Oct. 2019

编号 Number	科 Family	属 Genus	物种 Species
1	五加科	五加属	吴茱萸五加 <i>Gamblea ciliata</i> var. <i>evodiifolia</i>
2	猕猴桃科	猕猴桃属	紫果猕猴桃 <i>Actinidia arguta</i>
3	山茱萸科	灯台树属	灯台树 <i>Cornus controversa</i> Hemsley
4	蔷薇科	花楸属	梯叶花楸 <i>Sorbus scalaris</i> Koehne
5	蔷薇科	花楸属	少齿花楸 <i>Sorbus oligodonta</i>
6	蔷薇科	稠李属	细齿稠李 <i>Padus obtusata</i>
7	木兰科	五味子属	红花五味子 <i>Schisandra rubriflora</i>
8	蔷薇科	构子属	平枝构子 <i>Cotoneaster horizontalis</i> Dcne
9	忍冬科	荚蒾属	桦叶荚蒾 <i>Viburnum betulifolium</i> Batal

3 讨论

灵长类的种子传播可促进森林植被的更新,许多灵长类动物通过种子传播促进了特定区域生境的恢复^[38],然而不同的研究方法对灵长类种子传播潜力的评估结果存在差异,基于单一方法不能完整揭示食果动物的种子传播物种数和传播的种子数量^[39],应综合不同研究方法评估食果动物的种子传播潜力。本研究用直接观察法和粪便分析法评估黑白仰鼻猴种子传播潜力,发现在传播物种和传播月份上存在不同,粪便分析法发现黑白仰鼻猴取食 18 种果实,且全年每月都可传播种子;而直接观察法发现仅有 6 个月取食了植物果

实,共 13 种。这与通过两种方法比较台湾猕猴 (*Macaca Cyclopis*) 取食的主要植物物种和取食的季节性变化模式是相似的,粪便中出现的部分植物未直接观察记录到,也有些直接观察记录到取食的植物物种未在粪便样本中发现,且对果实的取食比例因方法而异^[40]。结合直接观察与粪便分析两种方法表明,云南拉沙山黑白仰鼻猴可对 20 种植物进行种子传播。

粪便分析是评估灵长类对植物种子传播潜力的重要途径,植物果实在灵长类取食后仅果肉被消化道消耗,种子会随粪便排出(消化道传播),这增加了种子在新生境中萌发的机会^[41]。本研究中,粪便种子残留结果增加了对黑白仰鼻猴果食性比例和种子传播的认识。以往黑白仰鼻猴食性研究仅在物候上有果实的月份记录到黑白仰鼻猴取食果实,如 2008—2010 年对云南拉沙山黑白仰鼻猴食性研究发现取食果实的比例仅为 7.3%,且仅在 6—11 月观察到黑白仰鼻猴取食果实^[42]。直接观察法发现黑白仰鼻猴小昌都猴群取食花或果实的比例仅为 2.5%,2、3、4 月未观察到取食果实行为^[42]。本研究与已有研究基于直接观察法仅记录到黑白仰鼻猴 1、2、3、8、9、10、11 月取食果实,取食果实的比例为 13.9/8.8%的结果相一致^[43]。而本研究的粪便分析法发现黑白仰鼻猴全年取食果实,特别是在冬季粪便中种子残留数量极高,这说明黑白仰鼻猴冬季会在地上搜索地上果实作为其重要食物资源。因此,本研究结果增加了对黑白仰鼻猴果实性比例和种子传播月份的认识,为今后比较不同季节取食种子的传播有效性提供机会。

被传播后的种子能否萌发是评估灵长类对植物种子传播是否成功的关键,在果食性灵长类取食的果实中,有超过 70%的果实中的种子在经过灵长类传播后,种子萌发率得到了提高^[44]。本研究对象拉沙山黑白仰鼻猴猴群的日移动距离达 $(1826.10 \pm 603.89) \text{ m}$ ^[37],且黑白仰鼻猴年周期家域 $9.56\text{—}25.24 \text{ km}^2$ ^[45],因此,黑白仰鼻猴通过取食果实可将植物种子带到远离母树的区域,其种子传播区域可覆盖整个栖息地,这对于森林生态系统的维持和植被演替有潜在作用。此外,本研究发现黑白仰鼻猴取食包括成熟与未成熟的果实,可通过萌发实验来评估黑白仰鼻猴对这些果实中种子的传播质量;还发现黑白仰鼻猴在冬季取食掉落在地上的果实,探究冬季熟透的果实与其他季节未成熟或成熟果实被黑白仰鼻猴取食后其种子的萌发率是否有差异,将有利深入了解黑白仰鼻猴种子传播质量的机理。未来这些方面的研究将有助于更全面地了解黑白仰鼻猴的种子传播有效性。

总之,黑白仰鼻猴全年每月都有可能传播种子,建议从生态功能视角加强黑白仰鼻猴的保护和宣传;未来对于灵长类物种的种子传播潜力可综合使用粪便分析法和直接观察法更好地评估其对植物种子传播的有效性以及对森林生态系统更新的贡献。

参考文献 (References):

- [1] 杨期和, 杨和生, 刘惠娜. 植物种子的传播方式及其适应性. 嘉应学院学报, 2013, 31(5): 50-59.
- [2] 李新华, 尹晓明. 南京中山植物园春夏季节鸟类对植物种子的传播作用. 生态学报, 2004, 24(7): 1452-1458.
- [3] McConkey K R. Primary seed shadow generated by Gibbons in the rain forests of Barito Ulu, central Borneo. American Journal of Primatology, 2000, 52(1): 13-29.
- [4] 张丽, 陈进. 西双版纳热带森林中原生林与次生林内鸟类对不同颜色果实的选择. 云南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(S1): 247-250.
- [5] Schupp E W, Milleron T, Russo S E. Dissemination limitation and the origin and maintenance of species-rich tropical forests. Seed dispersal and frugivory: ecology, evolution and conservation, Third International Symposium-Workshop on Frugivores and Seed Dispersal, São Pedro, Brazil, 6-11 August 2000. UK: CABI Publishing, 2002: 19-33.
- [6] Qiang Q. Multivariate analysis, description, and ecological interpretation of weed vegetation in the summer crop fields of Anhui Province, China. 植物学报: 英文版, 2005, 47(10): 18.
- [7] 刘勇, 陈进. 食果动物与被取食植物的相互关系: 协同进化? 生物多样性, 2002, 10(2): 213-218.
- [8] Fleming T H, John Kress W. A brief history of fruits and frugivores. Acta Oecologica, 2011, 37(6): 521-530.
- [9] Righini N, Serio-Silva J C, Rico-Gray V, Martínez-Mota R. Effect of different primate species on germination of *Ficus (Urostigma)* seeds. Zoo Biology, 2004, 23(3): 273-278.
- [10] Martins M M. Comparative seed dispersal effectiveness of sympatric *Alouatta guariba* and *Brachyteles arachnoides* in southeastern Brazil. Biotropica, 2006, 38(1): 57-63.
- [11] Stevenson P R, Link A, Onshuus A, Quiroz A J, Velasco M. Estimation of seed shadows generated by Andean woolly monkeys (*Lagothrix*

- lagothricha lugens*). International Journal of Primatology, 2014, 35(5): 1021-1036.
- [12] Link A, Di Fiore A. Seed dispersal by spider monkeys and its importance in the maintenance of neotropical rain-forest diversity. Journal of Tropical Ecology, 2006, 22(3): 235-246.
- [13] Hallwachs W. Agoutis (*Dasyprocta punctata*): the inheritors of guapinol (*Hymenaea courbaril*; Leguminosae). Tasks for vegetation science. Dordrecht: Springer Netherlands, 1986: 285-304.
- [14] Jansen P A, Bartholomeus M, Bongers F, Elzinga, J A, Wieren. The role of size in dispersal by a Scatter-hoarding Roden. Britain: CABI, 2002: 209-225.
- [15] Tutin C E G, Williamson E A, Elizabeth Rogers M, Fernandez M. A case study of a plant-animal relationship: *Cola lizae* and lowland gorillas in the Lopé Reserve, Gabon. Journal of Tropical Ecology, 1991, 7(2): 181-199.
- [16] Stevenson P R. Seed dispersal by woolly monkeys (*Lagothrix lagothricha*) at Tinigua National Park, Colombia: dispersal distance, germination rates, and dispersal quantity. American Journal of Primatology, 2000, 50(4): 275-289.
- [17] González-Castro A, Calviño-Cancela M, Nogales M. Comparing seed dispersal effectiveness by frugivores at the community level. Ecology, 2015, 96(3): 808-818.
- [18] 汪国海, 李福燕, 徐文馨, 黄秋婵, 唐创斌, 周岐海. 食果鸟类对秋枫果实的取食和传播研究. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2022, 40(6): 230-236.
- [19] Schupp E W, Jordano P, Gómez J M. Seed dispersal effectiveness revisited: a conceptual review. New Phytologist, 2010, 188(2): 333-353.
- [20] Côrtes M C, Uriarte M. Integrating frugivory and animal movement: a review of the evidence and implications for scaling seed dispersal. Biological Reviews, 2013, 88(2): 255-272.
- [21] 肖治术, 张知彬. 食果动物传播种子的跟踪技术. 生物多样性, 2003, 11(3): 248-255.
- [22] 张峻, 杨士剑, 王政昆. 滇金丝猴及其食性. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2005, 25(4): 60-64.
- [23] 李学友, 杨士剑, 杨洋. 灵长类动物食性研究的主要方法及其评价. 林业调查规划, 2007, 32(5): 23-27.
- [24] 范鹏飞, 黄蓓, 蒋学龙. 云南无量山黑长臂猿对植物种子的传播作用. 兽类学报, 2008(3): 232-236.
- [25] 阮海河, 白冰, 李宁, 潘扬, 鲁长虎. 河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用. 生态学报, 2013, 33(1): 110-119.
- [26] 陈远, 王征, 向左甫. 灵长类动物对植物种子的传播作用. 生物多样性, 2017, 25(3): 325-331.
- [27] 白炎培. 神农架川金丝猴对植物种子的体内传播作用[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2020.
- [28] 张颖俊, 王双金, 郭爱伟, 陈粉粉, 崔亮伟, 肖文. 拉沙山黑白仰鼻猴春季食物化学成分及其对食物选择的影响. 动物学研究, 2013, 34(3): 152-159.
- [29] 本文伟, 杨德华. 白马雪山东坡滇金丝猴 *Rhinopithecus bieti* 群、活动路线及食性的初步观察. 兽类学报, 1982, 2(2): 125-131.
- [30] 李学友, 杨士剑. 云南龙马山滇金丝猴 (*Rhinopithecus bieti*) 冬季食性分析. 人类学学报, 2009, 28(4): 391-400.
- [31] 白寿昌, 邹淑荃, 林苏, 拖丁, 忠态, 王小红. 滇金丝猴 (*Rhinopithecus bieti*) 的数量分布及食性调查. 动物学研究, 1988, 9(S1): 67-75.
- [32] Ding W, Zhao Q K. *Rhinopithecus bieti* at Tacheng, Yunnan: Diet and Daytime Activities. International Journal of Primatology, 2004, 25(3): 583-598.
- [33] 李宁, 高帅, 陈思宇, 任源浩, 李延鹏, 黄志旁, 肖文, 崔亮伟. 云南拉沙山滇金丝猴的种子传播. 生态学杂志, 2019, 38(8): 2377-2381.
- [34] 杨国斌. 兰坪云岭省级自然保护区生态质量评价研究. 西部林业科学, 2011, 40(4): 48-53.
- [35] Yang D H. Black snub-nosed monkeys in China. Oryx, 1988, 22(1): 41-43.
- [36] 王浩然, 李延鹏, 管振华, 任国鹏, 杨敬, 黄志旁, 崔亮伟, 肖文. 云南拉沙山黑白仰鼻猴群体规模对冬春季日移动距离和活动时间分配的影响. 兽类学报, 2021, 41(1): 11-19.
- [37] 王云, 李智宏. 云南拉沙山黑白仰鼻猴游走行为范围分析. 南方农业, 2016, 10(12): 1-6.
- [38] Albert A, Savini T, Huynen M. The role of *Macaca spp.* (Primates: Cercopithecidae) in seed dispersal networks. Raffles Bulletin of Zoology, 2013, 61(1): 423-434.
- [39] Xiang Z F, Huo S, Xiao W, Quan R C, Grueter C C. Diet and feeding behavior of *Rhinopithecus bieti* at Xiaochangdu, Tibet: adaptations to a marginal environment. American Journal of Primatology, 2007, 69(10): 1141-1158.
- [40] Su H H, Lee L L. Food habits of Formosan rock macaques (*Macaca cyclopis*) in jentse, northeastern (Taiwan), assessed by fecal analysis and behavioral observation. International Journal of Primatology, 2001, 22(3): 359-377.
- [41] Howe H F, Smallwood J. Ecology of seed dispersal. Annual Review of Ecology and Systematics, 1982, 13: 201-228.
- [42] Huang Z P, Scott M B, Li Y P, Ren G P, Xiang Z F, Cui L W, Xiao W. Black-and-white snub-nosed monkey (*Rhinopithecus bieti*) feeding behavior in a degraded forest fragment: clues to a stressed population. Primates, 2017, 58(4): 517-524.
- [43] Grueter C C, Li D Y, Ren B P, Wei F W, Xiang Z F, van Schaik C P. Fallback foods of temperate-living Primates: a case study on snub-nosed monkeys. American Journal of Physical Anthropology, 2009, 140(4): 700-715.
- [44] Fuzessy L F, Cornelissen T G, Janson C, Silveira F A O. How do Primates affect seed germination? A meta-analysis of gut passage effects on neotropical plants. Oikos, 2016, 125(8): 1069-1080.
- [45] Grueter C C, Li D Y, van Schaik C P, Ren B P, Long Y C, Wei F W. Ranging of *Rhinopithecus bieti* in the samage forest, China. I. characteristics of range use. International Journal of Primatology, 2008, 29(5): 1121-1145.