

## 黑白仰鼻猴种群生存力初步分析

肖文<sup>1,3</sup>, 霍晟<sup>1,3</sup>, 向左甫<sup>1,3</sup>, 崔亮伟<sup>2,\*</sup>

(1. 中国科学院昆明动物研究所, 云南昆明 650223; 2. 西南林学院保护生物学学院, 云南昆明 650224;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 根据黑白仰鼻猴 (*Rhinopithecus bieti*) 的相关参数, 借助漩涡模型 (Vortex 9.42), 对黑白仰鼻猴的种群动态进行了模拟分析。结果表明, 在没有近亲繁殖和偷猎影响的情况下, 各亚种群 100 年间均持续增长, 即使数量较少的攀天阁和白济讯亚种群的灭绝概率也只有 3% 和 6%。在加入近亲繁殖和偷猎因素时, 有 5 个亚种群 (小昌都、乌牙普牙、金丝厂、富合山和格花箐) 保持增长态势, 3 亚种群 (茨卡通、各摩茸及响姑箐) 数量保持稳定, 其他 5 个亚种群 (米拉卡、巴美、龙马山、攀天阁和白济讯) 呈下降趋势。在其他条件相同的情况下, 大的环境容纳量能够促进亚种群的增长, 因此, 保护生境是保护该物种的根本途径。偷猎对整个异质种群增长有负作用, 所以杜绝偷猎发生是保护该物种的重要条件。近亲繁殖率随种群减小和时间推移逐渐增加, 也对猴群的长期存活有负面影响。

**关键词:** 黑白仰鼻猴; 种群生存力分析; 漩涡模型; 偷猎

**中图分类号:** Q959.848 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254-5853(2005)01-0009-08

## A Preliminary Analysis on Population Viability for Black-and-white Snub-nosed Monkeys (*Rhinopithecus bieti*)

XIAO Wen<sup>1,3</sup>, HUO Sheng<sup>1,3</sup>, XIANG Zuo-fu<sup>1,3</sup>, CUI Liang-wei<sup>2,\*</sup>

(1. Kunming Institute of Zoology, the Chinese Academy of Science, Kunming, Yunnan 650223;  
2. Faculty of Conservation Biology, Southwest Forestry College, Kunming, Yunnan 650224;  
3. Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039)

**Abstract:** Population dynamics of black-and-white snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) are simulated by simulation model Vortex 9.42 on the basis of their relative parameters. All subpopulation sizes can increase during the period of next 100 years without inbreeding depression and poaching, but Pantiang and Baijixun subpopulations which is smaller may extinct with possibilities of 3% and 6%. When inbreeding depression and poaching are considered, only sizes of 5 subpopulations (Xiaochangdu, Wuyapuya, Jinsichang, Fuheshan and Gehuaqing) increase, 3 (Cikatong, Gemorong and Xiangguqing) maintain stable, and the other 5 (Milaka, Bamei, Longmashan, Pantiang and Baijixun) decline. Population size of subpopulations with larger environmental capacity can increase faster when other parameters are close to the other subpopulations. Therefore, habitat protect should be emphasized for the long-term survival of the species. It is important to stop poaching because it has negative impacts on meta-populations. Inbreeding rate increases with time and smaller population size, it also has negative influences on the long term survival of the species.

**Key words:** Black-and-white snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*); Population viability analysis; Vortex model; Poaching

黑白仰鼻猴 (*Rhinopithecus bieti*) 是我国特有的、全球 25 种顶级濒危灵长类之一 (Konstant et al, 2003); 分布于金沙江和湄公河之间横断山脉

的狭长地带 (26°14'N ~ 29°20'N), 即行政区划上的 6 个县 (西藏芒康和云南德钦、维西、丽江、兰坪、云龙) (Long et al, 1996)。目前, 黑白仰鼻猴

收稿日期: 2004-09-03; 接受日期 2004-11-10

基金项目: 中国科学院知识创新工程资助项目 (KSCX2-1-03, KSCX2-1-09)

\* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: cuilw@yahoo.com

有 13 个亚种群, 总数量约为 1 200 ~ 1 700 只 (Xiao, 2004)。该物种的主要生境类型从北到南大致可分为暗针叶林、针阔混交林和阔叶林。与 1958 年相比, 1997 年其适宜生境面积的最大估计值为 4 169 km<sup>2</sup>, 下降了 31% (1 887 km<sup>2</sup>); 生境斑块面积从 15.6 下降为 5.4 km<sup>2</sup>; 而夏季牧场面积却增加了 204% (1 291 km<sup>2</sup>)。说明其生境正处于退化和破碎化过程中 (Xiao et al, 2003)。当地森林受到农田从林带下缘向上的蚕食 (Zhao, 1996)。人口的急剧膨胀导致牧场和农田面积扩大, 二者的协同作用直接破坏黑白仰鼻猴的生境并使之进一步片段化。此外, 当地居民砍伐薪材也在一定程度上加速了森林的退化 (Xiao et al, 2003)。现有猴群间的生境走廊大多已被破坏, 采伐、放牧、采矿、高山村寨、公路和森林防火带是黑白仰鼻猴生境走廊受到阻隔的主要原因 (Xiao, 2004)。在这样的生存压力下, 该物种未来的命运不得不引起我们的关注。

黑白仰鼻猴生活于人迹罕见的高山峡谷。该地区的积雪期约为半年左右, 而且猴群怕人, 所以很难跟踪, 使该物种的生态学研究举步维艰。自 1979 年到目前为止, 虽然集中对 6 个亚种群进行了观察, 但是没有长期坚持和系统研究, 致使对其他 7 个亚种群的生物学属性和生存威胁因子等了解甚少。

漩涡模型全面概括了种群统计、环境、遗传和灾害随机性, 并引入了密度制约、年龄结构、性比和繁殖体制等因素的作用, 还包含了环境容纳量、人工捕获和补充等确定过程, 最大限度地模拟了种群的真实动态, 成为进行种群生存力分析、确定优先保护项目和评价濒危动物管理方式的有力工具 (Lacy, 1993)。我国研究者已利用漩涡模型对白暨豚 (Zhang et al, 1994)、长江江豚 (Zhang & Wang, 1999)、朱鹮 (Li et al, 1996)、大熊猫 (Li et al, 1997) 和黑熊 (Hou et al, 2001) 种群的未来和影响因素进行了分析。近年来, 漩涡模型也被用于黔金丝猴野外种群的生存力评估 (Yang et al, 2002), 其结果预示: 当黔金丝猴环境容纳量降低时, 其种群数量将会急剧下降, 灾害发生是其可能灭绝的重要因素; 根据其种群威胁因素, 制定出梵净山自然保护区该物种野外种群的保护和管理方案 (Yang et al, 2002), 体现了该模型的指导作用。

本文根据已有的黑白仰鼻猴的研究资料, 结合

目前对该物种和相近物种的了解, 运用保护生物学的有关原理, 借助漩涡模型 (Vortex 9.42), 对未来 100 年的黑白仰鼻猴的野生异质种群的种群动态进行了模拟和分析。以期评价当前被关注的生境退化、近亲繁殖和偷猎等因子, 为该物种的有效保护和管理提供有价值的资料。

## 1 材料和方法

模拟对象为现存的 13 个黑白仰鼻猴亚种群。基于有关该物种以及相关物种的研究结果, 根据 Vortex 9.42 的数据输入要求, 确定或者推断所需参数, 然后分别在不同条件下进行 100 次计算机模拟, 最后进行统计分析。由于模拟过程中 Vortex 模型将所有个体视为在一个异质种群中, 而各地单独存在的猴群视为亚种群, 故本文中异质种群指黑白仰鼻猴全体, 亚种群指的是局部某一猴群。

## 2 种群参数

随着 Vortex 模型被逐渐完善, 需要的参数会越来越多。在应用 Vortex 模型进行种群生存力研究的过程中, 特别是对珍稀动物的研究中, 一些重要的参数难以获得全面的资料, 这就需要借助已有的资料或者借助相近物种相关资料或者经验进行合理的估计 (Zhang et al, 1994)。

### 2.1 种群描述

黑白仰鼻猴现有 13 个亚种群, 其中西藏芒康地区 2 群, 云南 11 群。到目前为止, 仅有小昌都、乌牙普牙、响姑箐、金丝厂、富合山以及龙马山亚种群有较准确的计数, 其他猴群大小只是粗略估计。本研究将猴群大小估计的上/下限的平均值作为其近似值 (表 1)。各亚种群不同年龄 - 性别组的个体数量无法得到, Vortex 软件可以根据其稳定年龄分布 (stable age distribution) 自动生成亚种群的年龄 - 性别组成 (Miller & Lacy, 2003)。

### 2.2 迁移扩散

对黑白仰鼻猴生境走廊的研究表明, 茨卡通和各摩茸亚种群、响姑箐和格花箐亚种群、攀天阁和白济讯亚种群间存在生境走廊, 而阿东和乌牙普牙、富合山和龙马山亚种群间不存在走廊 (Xiao et al, 2003)。最近调查表明, 小昌都和米拉卡亚种群间完全隔离, 而米拉卡和巴美猴亚种群很可能存在走廊。根据疣猴亚科灵长类群间的迁移报道 (Moore, 1984), 结合猴群间的实际距离, 拟定黑白

表 1 黑白仰鼻猴现存亚种群分布和大小

Tab. 1 Distribution and group size of black-and-white snub-nosed monkeys

猴群 Group	县 County	猴群大小 Group size	资料来源 Sources
小昌都 Xiaochangdu	芒康 Mangkang	150	Xiang, unpublished data
米拉卡 Milaka	芒康 Mangkang	50	Xiao, 2004
巴美 Bamei	德钦 Deqing	50	Xiao, 2004
乌牙普牙 Wuyapuya	德钦 Deqing	300	Maclennan, pers. comm.
茨卡通 Cikatong	德钦 Deqing	150	Xiao, 2004
各摩茸 Gemorong	德钦和维西 Deqing & Weixi	150	Xiao, 2004
金丝厂 Jinsichang	丽江和兰坪 Lijiang & Lanping	51	Xiao, 2004
富合山 Fuheshan	兰坪 Lanping	80	Xiao, 2004
龙马山 Longmashan	兰坪和云龙 Lanping & Yunlong	100	Huo, unpublished data
响姑箐 Xiangguqing	德钦和维西 Deqing & Weixi	360	Xiao, 2004
格花箐 Gehuaqing	德钦和维西 Deqing & Weixi	200	Xiao, 2004
攀天阁 Pantiange	维西 Weixi	30	Xiao, 2004
白济讯 Baijixun	维西 Weixi	30	Xiao, 2004

表 2 黑白仰鼻猴各年龄段的死亡率

Tab. 2 Mortality of black-and-white snub-nosed monkeys in different age periods

年龄段 Age period	死亡率 Mortality (%)	
	雌性 Female (Mean $\pm$ SD)	雄性 Male (Mean $\pm$ SD)
0—1	55.0 $\pm$ 10.0	55.0 $\pm$ 10.0
1—2	15.0 $\pm$ 5.0	15.0 $\pm$ 5.0
2—3	10.0 $\pm$ 4.0	10.0 $\pm$ 4.0
3—4	5.0 $\pm$ 2.0	5.0 $\pm$ 2.0
4—5	5.0 $\pm$ 2.0	5.0 $\pm$ 2.0
5—6	3.0 $\pm$ 1.0	5.0 $\pm$ 2.0
6—7	3.0 $\pm$ 1.0	5.0 $\pm$ 2.0
7—8	3.0 $\pm$ 1.0	5.0 $\pm$ 2.0
成年 Adult	3.0 $\pm$ 1.0	3.0 $\pm$ 1.0

仰鼻猴亚种群间的迁移率为 5%，迁移过程中个体的死亡率为 50%。根据笼养观察数据，结合疣猴亚科物种迁移规律 (Moore, 1984)，拟定雌雄两性均可能迁移，迁移的最小年龄为 4 岁，最大年龄为 20 岁。

### 2.3 繁殖体制

黑白仰鼻猴的交配体制为一夫多妻 (polygynous) (Kirkpatrick et al, 1998)。雌性首次生育后代的年龄为 5 岁，雄性为 8 岁 (Ji et al, 1998)。根据该物种现有笼养的繁殖记录，其最高繁殖年龄为 25 岁。鉴于 2004 年 3 月北京野生动物园金仰鼻猴

(*Rhinopithecus roxellana*) 成功产下一对双胞胎 (Cyrill, pers. comm.)，估计黑白仰鼻猴每胎的最大产仔数为 2。野生猴群婴猴的性比为 1:1。故该物种的种群增长应为密度制约型，即参加繁殖的雌性数占全部成年雌数的比例  $[P(N)]$  随种群大小 ( $N$ ) 的变化而变化。Fowler (1981) 认为描述这种变化强度的参数  $B$  取值 2 能够更好地模拟密度制约型种群的增长。描述雌性交配率降低的参数  $A$  取值也为 2。拟定  $N$  接近环境容纳量  $K$  时，繁殖雌性的比例  $P(K)$  为 20%；而当  $N$  接近 0 时， $P(0)$  为 80%。

### 2.4 死亡率

乌牙普牙野生猴群婴猴的死亡率为 60% (Kirkpatrick et al, 1998)。黑白仰鼻猴生存环境的恶劣程度从北到南逐渐减弱，因此我们取 55% 作为所有亚种群婴猴的平均死亡率。由于目前没有该物种野生猴群的生命表，故根据其生物学属性以及生存环境，结合相似物种的经验值，拟定其他年龄段的死亡率和标准差 (表 2)。

### 2.5 繁殖率

根据我们在昆明地区笼养黑白仰鼻猴的繁殖记录，如果婴猴能够正常成活，雌性的生育间隔平均为 1.93 年；婴猴 1 岁前死亡后，雌性的生育间隔为 1.17 年。假定所有成年雌性都具有繁殖能力。那么黑白仰鼻猴校正的出生间隔 (corrected IBI) 为： $(1.17 \times 0.55 + 1.93 \times 0.45) / 1 = 1.51$  年。

鉴于此, 每年生育雌性的比例为  $(1.51)^{-1} = 66.1\%$ 。此外, 由于缺乏野生猴群系统的出生数据, 因而认定每年生育雌性比例的标准差为 0。根据野外和笼养观察, 黑白仰鼻猴每胎产仔一个, 但鉴于北京野生动物园已有金仰鼻猴产双胞胎情况, 拟定黑白仰鼻猴产单胞胎的比例为 99%, 双胞胎为 1%。

## 2.6 灾害

自然灾害的其他因素(比如传染病的发生)由于缺乏数据, 不予考虑。影响黑白仰鼻猴生存繁衍的主要因素是区域性(local in scope)偷猎。现存 13 个亚种群分布地区的民族文化信仰以及亚种群受到的保护程度存在一定差异, 结合野外研究, 拟定了偷猎的发生频率及对应危害强度下的繁殖率和存活率(表 3)。

## 2.7 交配垄断

Vortex 软件关于交配垄断所涉及的指标有 3 个: 繁殖系统中的雄性比例、平均每个繁殖周期(1.51 年)中能够生育后代的雄性比例、每年繁殖雄性的平均子女数。通过其中一个指标, 就能够计算出其他 2 个指标。目前, 只有小昌都(成年雌雄比 3.3)、乌牙普牙(4.9)、响姑箐(3.5; Ding, 2003)、金丝厂(3.6; Yang, 2000)以及富合山(3.8; Liu, 2003)亚种群有较详细的记录, 而且只

有繁殖单元中的成年雌雄比记录较准确。鉴于此, 根据亚种群间的距离和生态环境的相似性来确定其他未知亚种群的雌雄比。米拉卡和巴美亚参照小昌都的, 茨卡通、各摩茸、格花箐、攀天阁和白济讯参照响姑箐的, 龙马山参照富合山的。繁殖单元中成年雌雄比除以平均出生间隔(1.51 年)后, 输入 Vortex 生成每年繁殖雄性的平均子女数和其他指标(Miller & Lacy, 2003)(表 4)。

## 2.8 环境容纳量

根据现有资料作初步估算, 响姑箐亚种群大小为 360 只, 年家域面积约为  $30 \text{ km}^2$ , 其密度为  $12 \text{ 只}/\text{km}^2$ 。由当地一些竹林的竹笋几乎被猴群吃光的现象, 暗示该地区猴群密度较高; 而且猴群活动范围一定程度上受到人为限制; 结合该地区的适宜生境面积(Xiao et al, 2003), 推测环境容纳量约 600 只。黑白仰鼻猴栖息地海拔从北到南逐渐降低, 而温度、降雨量和生境的多样性逐渐增加, 这暗示生境质量从南到北逐渐下降, 单位面积生境能够承载的个体数量也有类似趋势。此外, 基于一些明显的界限, Xiao et al (2003) 将该物种的整个栖息地分为北、中、南、东四部分。我们以响姑箐地区 12 个个体/ $\text{km}^2$  作为计算中片区其他亚种群环境容纳量的标准, 以北片区(10 个个体/ $\text{km}^2$ )、东片区(13 个个体/ $\text{km}^2$ )、南片区(15 个个体/ $\text{km}^2$ )作为估

表 3 偷猎对黑白仰鼻猴各亚种群的影响及环境容纳量的拟定值

Tab. 3 Influences of poaching on black-and-white snob-nosed monkeys and estimated carrying capacity of subpopulations

	发生率 Frequency (%)	繁殖率 Reproduction rate (%)	存活率 Livability (%)	环境容纳量(只) Carrying capacity (ind.)
小昌都 Xiaochangdu	0	1	1	400
米拉卡 Milaka	33	0.95	0.90	400
巴美 Bamei	10	0.98	0.96	400
乌牙普牙 Wuyapuya	10	0.98	0.96	600
茨卡通 Cikatong	10	0.98	0.96	500
各摩茸 Gemorong	10	0.98	0.96	400
金丝厂 Jinsichang	10	0.98	0.96	650
富合山 Fuheshan	20	0.97	0.94	300
龙马山 Longmashan	33	0.95	0.90	300
响姑箐 Xiangguqing	0	1	1	600
格花箐 Gehuaqing	5	0.99	0.97	400
攀天阁 Pantiangge	5	0.99	0.97	150
白济讯 Baijixun	5	0.99	0.97	150

算其他片区亚种群环境容纳量的标准,结合各亚种群适宜生境面积(Xiao et al, 2003)可以估算出其环境容纳量(表3)。环境变化导致栖息地容纳量变化的标准差拟定为0。

## 2.9 近亲繁殖

近亲衰退是普遍影响小种群长期存活的一个重要因素。Ralls et al (1988)对40只圈养兽类动物的致死等价系数进行了研究,认为每个二倍体平均有3.14个致死基因当量。由于目前没有灵长类动物致死当量的报道,所以我们采用Vortex软件默认的3.14作为致死等价系数(Miller & Lacy, 2003),通过模拟有无近亲繁殖时的种群动态来说明其对种群的影响。

## 2.10 人为捕获和补充

一些野生动物的管理中,为了保持种群的稳定,会进行人为的捕获(harvest)或者补充。目前还没有对黑白仰鼻猴的人为捕获和补充,故该参数设为0。

## 3 结 果

### 3.1 理想状态下的种群动态

理想条件(没有近亲繁殖和灾害影响)下,黑

白仰鼻猴的内禀增长率  $r = 0.03$ , 周限增长率  $\lambda = 1.03$ , 净生殖率  $R_0 = 1.37$ , 雌性的平均世代时间  $T = 12.74$ , 雄性的平均世代时间  $T = 14.83$ 。理想条件下,所有亚种群都保持持续增长。在这一过程中,攀天阁和白济讯亚种群的灭绝概率分别为6%和3%,平均灭绝时间分别为76.5年( $SD = 18.7$ )和80.3年( $SD = 16.2$ )。31%的亚种群可以在100年达到或接近环境容纳量,最快的亚种群在40年后就可达到环境容纳量。然而,其他亚种群100年内都达不到其环境容纳量。当环境容纳量和繁殖单元中成年雌雄比相同时,大的亚种群增长较快。亚种群大小、繁殖单元中成年雌雄比相同时,大的环境容纳量利于种群快速增长(图1a)。

### 3.2 模拟条件下的种群动态

在模拟条件下(有近亲繁殖和偷猎),只有小昌都、乌牙普牙、金丝厂、富合山和格花管亚种群保持增长态势。其中,乌牙普牙和小昌都亚种群在100年内可达到或接近环境容纳量。茨卡通、各摩茸以及响姑管亚种群数量基本保持稳定,其他猴群均呈下降趋势(图1b)。在未来100年,具有灭绝风险亚种群的灭绝概率和平均灭绝时间见表5。

随着时间推移,各亚种群的基因杂合率逐渐降

表4 黑白仰鼻猴群的交配垄断

Tab. 4 Mate monopolization of black-and-white snub-nosed monkeys

	小昌都 Xiaochangdu	乌牙普牙 Wuyapuya	响姑管 Xiangguqing	金丝厂 Jinsichang	富合山 Fuheshan
繁殖单元中的雄性比例 Males in breeding pool (%)	48.8	28.9	44.7	42.8	39.7
平均每个繁殖周期生育后代的雄性比例 Males successfully siring offspring in the average breeding cycle (%)	40.9	27.5	38.6	37.4	35.5
每年繁殖雄性的平均子女数 Mean number of litters sired by successful males per year	2.2	3.2	2.3	2.4	2.5

表5 模拟条件下黑白仰鼻猴亚种群的灭绝概率和时间

Tab. 5 Probability and mean time of extinction of subpopulations of black-and-white snub-nosed monkeys under the simulation conditions

亚种群 Subpopulation	灭绝概率 Probability of extinction (%)	平均灭绝时间 Time of first extinction (Mean $\pm$ SD) (Year)
米拉卡 Milaka	50	73 $\pm$ 17.3
巴美 Bamei	34	81 $\pm$ 14.7
富合山 Fuheshan	1	51 $\pm$ 0.0
龙马山 Longmashan	25	81 $\pm$ 14.9
攀天阁 Pantiangge	16	78 $\pm$ 15.8
白济讯 Baijixun	16	78 $\pm$ 21.8

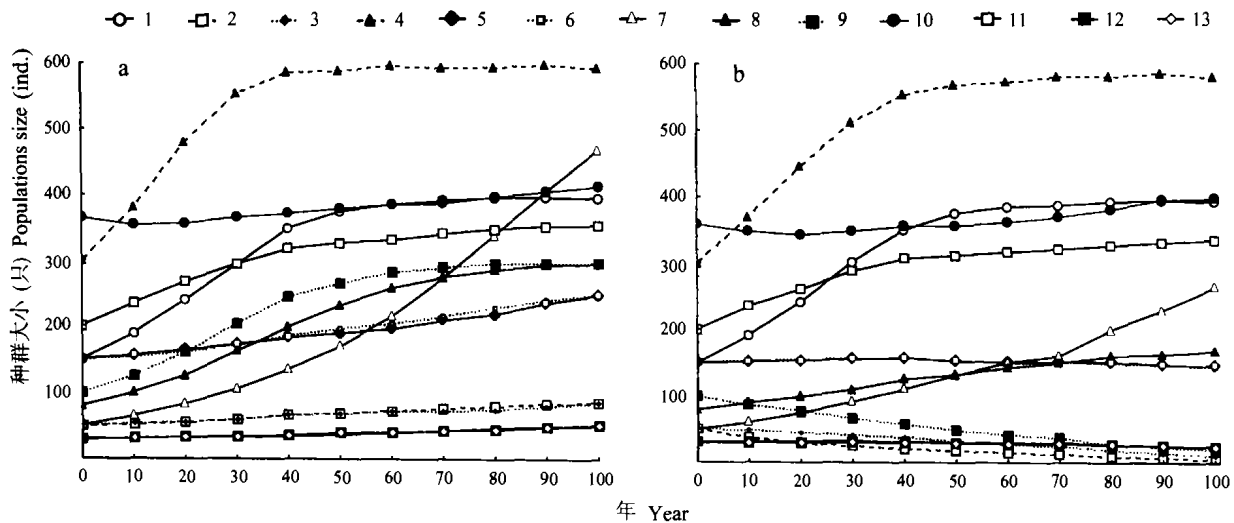


图1 无近亲繁殖、灾害 (a) 和模拟 (b) 条件下黑白仰鼻猴亚种群数量动态

Fig.1 Dynamics of subpopulation sizes of black-and-white snub-nose monkeys without inbreeding depression and catastrophes (a), and under the simulation conditions (b)

1: 小昌都 (Xiaochangdu); 2: 米拉卡 (Milaka); 3: 巴美 (Bamei); 4: 乌牙普牙 (Wuyapuya); 5: 茨卡通 (Cikatong); 6: 各摩茸 (Gemorong); 7: 金丝厂 (Jinsichang); 8: 富合山 (Fuheshan); 9: 龙马山 (Longmashan); 10: 响姑箐 (Xiangguqing); 11: 格花箐 (Gehuaqing); 12: 攀天阁 (Pantiange); 13: 白济讯 (Baijixun)。

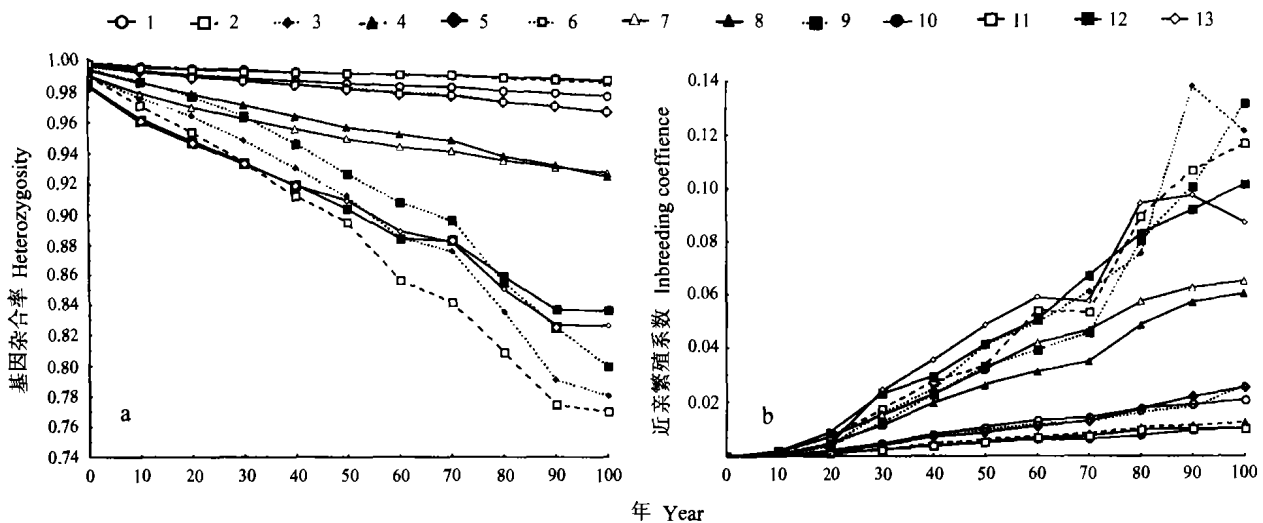


图2 黑白仰鼻猴亚种群基因杂合率 (a) 和近亲繁殖系数 (b) 的变化

Fig.2 Variation of heterozygosity (a) and inbreeding coefficients (b) of subpopulations of black-and-white snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*)

1—13 同图 1 (1—13 as Fig.1)。

低 ( $R^2 > 0.96$ ,  $F_{1,9} > 221.6$ ,  $P < 0.001$ )。各亚种群的基因杂合率与种群大小正相关 ( $R^2 = 0.60$ ,  $F_{1,11} = 16.7$ ,  $P = 0.018$ )。当环境容纳量、亚种群大小、繁殖单元中成年雌雄比相同时, 高频率的偷猎可以导致基因杂合率下降速率增加。小的亚种群较大的亚种群而言, 抵御偷猎对基因杂合率下降影响的能力弱 (图 2a)。

随着时间的推移, 各个亚种群的近亲繁殖系数都逐渐增加 ( $R^2 > 0.89$ ,  $F_{1,9} > 71.5$ ,  $P < 0.001$ )。

近亲繁殖系数与亚种群大小负相关 ( $R^2 = 0.69$ ,  $F_{1,11} = 24.1$ ,  $P < 0.001$ ) (图 2b)。

近亲繁殖和偷猎对黑白仰鼻猴未来 100 年的发展具有不同的影响 ( $F_{3,40} = 3.34$ ,  $P = 0.029$ ): 偷猎对整个异质种群增长具有明显的负面影响 (LSD:  $P < 0.05$ ), 而近亲繁殖在这个期间对整个异质种群增长无明显影响 (LSD:  $P > 0.05$ )。但是, 近亲繁殖和偷猎具有协同负效应。在其共同作用下, 100 年后黑白仰鼻猴异质种群数量为 2 494 只 (图 3)。

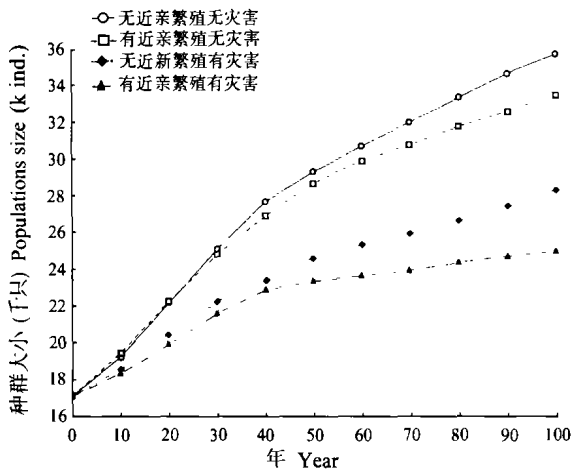


图3 4种因子影响下黑白仰鼻猴异质种群数量动态  
Fig.3 Dynamics of meta-population sizes of black-and-white snub-nosed monkeys influenced by 4 factors

#### 4 讨论

在没有近亲繁殖和偷猎的理想条件下,所有黑白仰鼻猴亚种群都能够持续增长。这说明该物种具有潜在增长能力。

在有近亲繁殖和偷猎的模拟条件下,尽管金丝厂和巴美亚种群大小、繁殖单元中成年雌雄比以及其他参数基本相同,但是金丝厂亚种群数增长,巴美亚种群数量下降。这可能与金丝厂更大的环境容纳量有关。另外,亚种群增长还受到亚种群大小以及繁殖单元中成年雌雄比等因素的影响。黑白仰鼻猴典型的繁殖单元是单雄多雌单元(Kirkpatrick et al, 1998)。繁殖单元中较小的雌雄比意味着雌性间较弱的食物竞争,同时也暗示了繁殖单元中成年雄性比例的增加,这可能有利于亚种群增长。

在实际条件下保持增长态势的有5个亚种群。其中,乌牙普牙、金丝厂、富合山、格花管环境容纳量都较大,而承受的偷猎压力又相对较小,这都有利于亚种群增长。小昌都亚种群由于生活于藏区的宗教神山,当地居民具有崇拜自然、敬畏生命的文化信仰,没有偷猎事件发生。因此,亚种群在短期内可以达到环境容纳量。

一般认为,影响小种群的随机因素有种群统计

学随机性、环境随机性、灾害随机性和遗传随机性(Shaffer, 1981)。种群统计随机性对种群的影响随种群大小的变化呈对数关系,即种群小时其作用显著,种群大时其作用减弱。环境随机性对种群的影响随种群大小呈线性关系,即影响作用保持恒定。灾害随机性对种群的影响随种群大小的变化呈指数关系,即种群大时其作用也大(Shaffer, 1987)。由于目前没有该物种生存环境变化的数据,所有本研究没有考虑环境随机性对种群的影响。通过对比亚种群参数发现,偷猎很可能是造成亚种群数量持续下降的主要因素。米拉卡和龙马山亚种群数量的逐年降低很可能也是每3年一次的偷猎压力直接造成的。攀天阁和白济讯现有亚种群数量仅为30只,在每20年发生一次偷猎的情况下,亚种群数量持续降低。结合理想条件下种群统计随机性对种群的影响,很可能是偷猎提高了灭绝概率。

一个种亚群要长期生存,必须要有足够的遗传变异量来适应环境变化。基因杂合率和近亲繁殖系数与种群大小正相关。另外,遗传漂变使种群每个世代损失 $1/2N_e$ ( $N_e$ 为有效种群数量)的遗传多样性,而小种群的遗传突变率比损失率低几个数量级(Lande & Barrowclough, 1987)。因此,如果能够增加环境容纳量,减少偷猎等灾害的发生频率和危害程度,促使种群持续快速增长,使基因突变率和遗传漂变导致的基因杂合性的损失率相等,那么亚种群就能够适应环境的变化,长期生存下去。

对于整个黑白仰鼻猴异质种群来讲,偷猎对物种的长期生存具有重要的负面影响,其作用远大于近亲繁殖(图3)。因此,杜绝类似偷猎等灾害的发生或者其减少其危害程度,是保护该物种长期存活的首要条件。尽管近亲繁殖的有无在100年内对异质种群的影响无显著差异,但是近交衰退对小种群长期存活具有负面作用。鉴于目前黑白仰鼻猴亚种群间缺乏迁移通道(Xiao et al, 2003),为了减少近亲繁殖对物种的影响,保证物种生存所需的遗传多样性,恢复亚种群间的生境走廊对这一世界性濒危物种的长期存活具有重要的现实意义。

#### 参考文献:

Ding W. 2003. Feeding ecology, social organization and conservation biology of *Rhinopithecus bieti* at Tacheng, Yunnan [D]. Ph. D.

thesis, Kunming Institute of Zoology, the Chinese Academy of Science, Kunming. [丁伟. 2003. 塔城黑白仰鼻猴 *Rhinopithecus*

- cus bieti* 的觅食生态学和社会组织——兼论其保护现状. 中国科学院昆明动物研究所博士研究生学位论文. 昆明.]
- Hou WR, Zhang ZJ, Hu JC. 2001. A preliminary analysis on population viability for black bear in Wolong [J]. *Zool. Res.*, 22: 357-361. [侯万儒, 张泽钧, 胡锦涛. 2001. 卧龙自然保护区黑熊种群生存力初步分析. 动物学研究, 22 (5): 357-361.]
- Ji WZ, Zou RJ, Shang EY, Zhou HW, Yang SC, Tian BP. 1998. Maintenance and breeding of snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) [A]. In: Jahionski NG. The Natural History of Doucs and Snub-nosed Monkeys [M]. Singapore: World Scientific Publishing. 323-335.
- Konstant WR, Butynski TM, Eudey AA, Ganzhorn J. 2003. The world's top 25 most endangered primates—2002 [J]. *Asian Primates*, 8 (3-4): 29-34.
- Lacy RC, Borbat M, Pollak JP. 2003. VORTEX: A Stochastic Simulation of the Extinction Process, Version 9 [M]. Brookfield, IL: Chicago Zoological Society.
- Lacy RC. 1993. Vortex: A computer simulation model for population viability analysis [J]. *Wildl. Res.*, 20: 45-65.
- Lande R, Barrowclough. 1987. Effective population size, genetic variation, and their use in population management [A]. In: Soule ME. Viable Population for Conservation [M]. Cambridge: Cambridge University Press. 87-123.
- Li XH, Li DM, Lu BZ, Zhai TQ. 1996. Population viability analysis for the Crest Ibis (*Nipponia nippon*) [J]. *Chin. Biodiv.*, 4: 69-77. [李欣海, 李典谟, 路宝忠, 翟天庆. 1996. 朱鹮 (*Nipponia nippon*) 种群生存力分析. 生物多样性, 4 (2): 69-77.]
- Li XH, Li DM, Yong YG, Zhang J. 1997. A preliminary analysis on population viability analysis for Giant Panda in Foping [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 43: 285-293. [李欣海, 李典谟, 雍严格, 张坚. 1997. 佛坪大熊猫种群生存力分析的初步报告. 动物学报, 43 (3): 285-293.]
- Liu ZH. 2003. Ranging behaviors and selection of sleeping site of *Rhinopithecus bieti* at Mt. Fuhe, Yunnan [D]. Ph. D. thesis, Kunming Institute of Zoology, the Chinese Academy of Science, Kunming. [刘泽华. 2003. 富合山黑白仰鼻猴 *Rhinopithecus bieti* 的游走行为及其过夜地选择. 中国科学院昆明动物研究所博士研究生学位论文. 昆明.]
- Long YC, Kirkpatrick RC, Zhong T, Xiao L. 1996. Status and conservation strategy of the Yunnan snub-nosed monkeys [J]. *Chin. Biodiv.*, 4 (3): 145-152. [龙勇诚, 柯瑞戈, 钟泰, 肖李. 1996. 滇金丝猴 (*Rhinopithecus bieti*) 现状及其保护策略. 生物多样性, 4 (3): 145-152.]
- Miller PS, Lacy RC. 2003. VORTEX: A Stochastic Simulation of the Extinction Process, Version 9.21, User's Manual [M]. Apple Valley, MN: Conservation Breeding Specialist Group (SSC/IUCN).
- Moore J. 1984. Female transfer in primates [J]. *Int. J. Primatol.*, 5 (6): 537-589.
- Ralls K, Ballou JD, Templeton AR. 1998. Estimates of lethal equivalence and cost of inbreeding in mammals [J]. *Conservation Biology*, 2: 185-193.
- Shaffer ML. 1981. Minimum population sizes for species conservation [J]. *Bioscience*, 31 (2): 131-134.
- Shaffer ML. 1987. Minimum viable population: Coping with uncertainty [A]. In: Soule ME. Viable Population for Conservation [M]. Cambridge: Cambridge University Press. 69-86.
- Xiao W, Ding W, Cui LW, Zhou RL, Zhao QK. 2003. Habitat Degradation of *Rhinopithecus bieti* in Yunnan, China [J]. *Int. J. Primatol.*, 24: 389-398.
- Xiao W. 2004. Population Status of *Rhinopithecus bieti* and Its Habitat Degradation in Yunnan. [D]. Ph. D. thesis, Kunming Institute of Zoology, the Chinese Academy of Science, Kunming. [肖文. 2004. 黑白仰鼻猴 (*Rhinopithecus bieti*) 种群现状和云南境内生境的退化. 中国科学院昆明动物研究所博士研究生学位论文. 昆明.]
- Yang SJ. 2000. Habitat, diet, range use and social organization of *Rhinopithecus bieti* at Jinsichang [D]. Ph. D. thesis, Kunming Institute of Zoology, the Chinese Academy of Science, Kunming. [杨士剑. 2000. 金丝厂黑白仰鼻猴 *Rhinopithecus bieti* 的生境植被、食性、家域和社会组织. 中国科学院昆明动物研究所博士研究生学位论文. 昆明.]
- Yang YQ, Lei XP, Yang CD. 2002. Ecology of the Wild Guizhou Snub-nosed Monkey [M]. Guiyang: Guizhou Scientific Press. [杨业勤, 雷孝平, 杨传东. 2002. 黔金丝猴的野外生态. 贵阳: 贵州科技出版社.]
- Zhang XF, Wang D, Wang KX. 1994. VORTEX model and its application on the management of Chinese river dolphin (*Lipotes vexillifer*) population [J]. *Chin. Biodiv.*, 2: 133-139. [张先锋, 王丁, 王克雄. 1994. 漩涡模型及其在白暨豚种群管理中的应用. 生物多样性, 2 (3): 133-139.]
- Zhang XF, Wang KX. 1999. Population viability analysis for the Yangtze finless porpoise [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 19: 529-533. [张先锋, 王克雄. 1999. 长江江豚种群生存力分析. 生态学报, 19 (4): 529-533.]
- Zhao QK. 1996. Ecological information on statistics of human population and agriculture in Hengduan Mountains from Yunnan [J]. *Chin. Biodiv.*, 4 (4): 217-221. [赵其昆. 1996. 云南横断山区人口和农业统计量中的生态信息. 生物多样性, 4 (4): 217-221.]