

DOI: 10.5846/stxb201511062254

王程亮, 王晓卫, 赵海涛, 任轶, 李保国. 秦岭大坪峪川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*) 种群生存力分析. 生态学报, 2016, 36(23): 7724-7731.

Wang C L, Wang X W, Zhao H T, Ren Y, Li B G. Population viability analysis of Sichuan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) in the Dapingyu region of the Qinling Mountains, China. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(23): 7724-7731.

秦岭大坪峪川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*) 种群生存力分析

王程亮^{1,2}, 王晓卫¹, 赵海涛¹, 任 轶^{1,2}, 李保国^{1,2,*}

1 陕西省动物研究所, 陕西省濒危动物保育与利用重点实验室, 西安 710032

2 西北大学生命科学学院, 西安 710069

摘要: 小种群的保护已成为保护生物学中一个重要的问题, 鉴于小种群极易灭绝的特性, 寻找制约小种群存活的关键因子, 形成快速拯救的措施, 是目前对于小种群进行保护十分迫切的任务。根据秦岭大坪峪地区 2 个川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*) 种群连续 5a 的观察数据, 参照群体大小、配偶体制、迁移扩散、环境容纳量、死亡率、灾害的发生频率等种群参数, 并结合川金丝猴其他种群的研究结果, 利用旋涡模型 (Vortex 10.0), 对猴群未来 100a 内的数量动态进行了模拟分析。结果表明, 在没有个体迁移的情况下, 大坪峪种群种群 100a 内灭绝概率为 95.8% 和 93%; 当存在个体迁移和扩散的情况, 灭绝概率为 2% 和 0.4%。因此种群间个体迁移是秦岭大坪峪川金丝猴种群数量动态的限制因子。鉴于此, 增加川金丝猴大坪峪种群间的个体交流, 能够保证本群川金丝猴长期生存所需的遗传多样性。同时, 增加秦岭川金丝猴各种群间的个体交流, 建立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。

关键词: 秦岭山脉; 川金丝猴; 种群生存力分析 (PVA); 迁移

Population viability analysis of Sichuan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) in the Dapingyu region of the Qinling Mountains, China

WANG Chengliang^{1,2}, WANG Xiaowei¹, ZHAO Haitao¹, REN Yi^{1,2}, LI Baoguo^{1,2,*}

1 Shaanxi Institute of Zoology and Shaanxi Key Laboratory of Protection and Utilization of Endangered Animal, Xi'an 710032, China

2 College of Life Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, China

Abstract: Small population protection has become an important conservation biology issue because small populations can easily become extinct. Investigating the constraints on small populations and setting up rescue measures are very important tasks in small population protection. Population Viability Analysis (PVA) is the analytical estimation of extinction probabilities. It incorporates identifiable threats to population survival into models of the extinction process. Computer simulation modeling (Vortex) is a tool that can be used to explore the viability of populations subjected to many complex, interacting, deterministic, and random processes. In this study, we investigated the population viability of a troop of Sichuan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*), which are located in the Dapingyu region of the Qinling Mountains, central China. In the winter of 2009, this troop of golden monkey naturally separated into two groups, which were named DPY1 and DPY2. From 2011 to 2015, DPY1 was monitored and data on population size, migration, reproductive system, reproductive rate, mortality rate, mate monopolization, carrying capacity, catastrophes, and

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (31130061); 国家自然科学基金资助项目 (31472014, 31270438, 31470455, 31572278); 陕西省科学院基础应用研究项目 (2014K-12); 陕西省科学院青年基金项目 (2013K-35); 陕西省科学院重点资助项目 (2012K-01)

收稿日期: 2015-11-06; 修订日期: 2016-05-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: baoguoli@nwu.edu.cn

harvesting were collected. The DPY2 group was allowed to live in their natural environment and only data on the number of individuals were recorded. Based on the information collected, we used the computer program Vortex 10.0 to simulate the population viability of the Sichuan snub-nosed monkeys in the Dapingyu region. The results suggested that, in the absence of individual migration, the two groups, which had naturally separated from a larger local troop, have 95.8% and 93% possibilities, respectively, of becoming extinct over the next 100 years. When individual migration between the two groups is established, the extinction possibilities can be reduced to 2% and 0.4%. These results suggest that individual migration seems to be the primary limiting factor on long-term troop survival in the Dapingyu region. Therefore, increasing the individual exchange frequency between the groups and making the gene mutation rate equal to the gene loss rate should be encouraged if the long-term survival of this troop of golden monkeys is to improve. Furthermore, programs for improving the protection of Sichuan snub-nosed monkeys in the Qinling Mountains should concentrate on protecting and improving corridors connecting a population to its surrounding populations.

Key Words: The Qinling Mountains; *Rhinopithecus roxellana*; population viability simulation; migration

由于受到人类活动的影响,许多曾经分布广泛、数量较多并且占据大而连续栖息地的物种,如今萎缩成一个或多个小的、相互隔离的小种群^[1]。这些小种群的生存不仅继续受到人类活动、栖息环境恶化和丧失的影响,更面临着物种统计(demographic)的随机性(如后代性比失调),遗传过程中的随机事件(如遗传漂移或近亲交配)及灾害性事件(如自然灾害,流行病爆发)的威胁^[1]。这些因素,又会反馈回小种群本身,致使近亲交配增加,遗传多样性继续丧失,后代对环境变化和灾害的抵抗能力进一步降低,小种群数量下降直至灭绝,而小种群灭绝的后果是直接导致本物种的最终灭绝^[2]。因此,小种群的保护成为保护生物学中一个重要的问题,但是鉴于小种群极易灭绝的特性,寻找制约小种群存活的关键因子,形成快速拯救的措施,是目前对于小种群进行保护十分迫切的任务。

种群生存力分析(Population Viability Analysis, PVA)技术,是用计算机模型对种群在一定时间段内的灭绝概率进行分析和模拟,以期得到对现生种群存活概率产生重要影响的关键因子,从而有的放矢的采取保护措施^[3]。目前 PVA 模型大多采用蒙特卡洛的方法,结合多种随机因素来模拟种群灭绝风险,如 RAMAS、ALEX 等,这些模型各有其侧重点,而预测能力相对较全面并且较强的是漩涡模型(Vortex model)^[4]。

漩涡模型发展至今,经过众多研究者的不断完善,已经成为管理野生动物,特别是濒危野生动物小种群有效的工具。漩涡模型(Vortex 10.0)是目前最新版本,软件包括了种群统计、环境质量、遗传和灾害随机性,引入了密度制约、年龄结构、性比和繁殖体制等因素的作用,还包含环境容纳量、人工捕获和补充等参数的确定过程,最大限度模拟了种群在未来时间内的真实动态,成为种群生存力分析、确定优先保护项目和评价濒危动物管理方式的有力工具^[4]。我国有关物种种群生存力分析研究起于 20 世纪 80 年代,自 90 年代以来,国内的一些研究学者已经应用 Vortex 模型对白鳍豚(*Lipotes vexillifer*)^[5]、大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)^[6-7]、朱鹮(*Nipponia nippon*)^[8]、长江江豚(*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*)^[9]、黑熊(*Ursus thibetanus*)^[10]、黑长臂猿(*Nomascus concolor jingdongensis*)^[11]、黔金丝猴(*Rhinopithecus brelichi*)^[12]、黑白仰鼻猴(*Rhinopithecus bieti*)^[13]和黄腹角雉(*Tragopan caboti*)^[14]的种群动态进行模拟和研究,并提出了相应的保护管理对策。

川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)隶属猴科(Cercopithecidae)疣猴亚科(Colobinae)仰鼻猴属(*Rhinopithecus*),是中新世古老物种,是我国特有珍稀濒危物种。在过去的 400a 中,由于人为活动的与日俱增,川金丝猴的生活环境已从丘陵地带的普遍分布,变为向深山地区收缩^[15]。于此同时,适合川金丝猴生活的栖息环境也逐渐退化和消失,致使曾经连续成片的栖息地,形成互相隔离的“孤岛”状^[16]。陕西秦岭山脉中现有川金丝猴 39 群,分布于周至、佛坪、太白、宁陕和洋县 5 个相邻的县区当中。至 20 世纪 90 年代中期,大范围的商业砍伐导致秦岭川金丝猴本已破碎的栖息地再次受到了严重的破坏,原来呈“孤岛”状的川金丝猴栖息地再次被分割成许多大小不一的斑块,形成孤立的小种群^[17]。因此,川金丝猴未来的命运不得不引起

人们的关注。

本文根据已有川金丝猴大坪峪群的研究资料,结合本物种其他种群的研究结果,运用保护生物学的有关原理,借助漩涡模型(Vortex 10.0),对未来 100a 内大坪峪群的动态进行了模拟和分析。探讨限制本群川金丝猴增长的主要因素以及为川金丝猴其他种群的有效保护和管理提供有价值的资料。

1 材料和方法

1.1 研究地点和对象

本研究地点位于秦岭山脉中段南麓陕西省观音山国家级自然保护区大坪峪内(107°52′—108°02′E, 33°20′—33°44′N)。海拔范围 1150—2574 m。本地区四季分明,年平均温度为 11.5℃,最高温度为 36.4℃;最低温度为-4.3℃。年平均降水量 924 mm。植被组成呈现明显的带状分布,落叶阔叶林(1500 m 以下),针阔混交林(1500—2300 m),针叶林(2300 m 以上)^[18]。

本地区本有川金丝猴 1 群,2009 年由于本地区经济发展,本猴群自然分为 2 个种群,即大坪峪 1(DPY1)群和大坪峪 2(DPY2)群。其中,DPY1 群经过 5a 的近距离观察,积累了关于猴群变化的基础资料。DPY2 群处于野生状态,只有个体的数量统计。

1.2 研究方法

基于 DPY1 和 DPY2 两个种群现有的数据资料,依据 Vortex 10.0 的参数输入要求,计算或推断其参数,分别在不同条件下进行 1000 次计算机模拟,推测 DPY 亚群在未来 100a 内的种群动态。

2 模拟参数估计

2.1 种群描述

大坪峪地区的 DPY1 群和 DPY2 群自 2009 年自然分群以来,独自生活。两群最近距离为 10 km。其中,DPY1 群经过 5a 的近距离观察,积累了关于猴群变化的基础资料。经过 5a 的繁衍,本猴群已由 2011 年的 55 只个体发展为 2015 年的 84 只个体。DPY1 群组成和变化见表 1。DPY2 群自分群以来,一直处于野生状态,只有简单的个体数量统计。2014 年冬季最后 1 次数量统计为 120 只个体。尽管两个猴群的个体数量能够确定,但是成年个体的具体年龄却无法推测,因此,输入 Vortex 软件时,采用稳定年龄分布(stable age distribution)自动生成亚种群的年龄-性别组成^[19]。

表 1 川金丝猴秦岭 DPY1 群组成变化/只

Table 1 The Age-sex categories composition of golden snub-nosed monkey DPY1 group

年龄性别组 Age-sex categories	2011		2012		2013		2014		2015	
	雄性 Male	雌性 Female	雄性 Male	雌性 Female	雄性 Male	雌性 Female	雄性 Male	雌性 Female	雄性 Male	雌性 Female
成年个体 Adult Male	6	25	6	24	6	25	6	23	6	25
亚成体 Sub-adult	5	4	5	4	6	10	4	10	4	10
青年个体 Juvenile	1	9	2	13	8	15	9	15	12	18
婴猴 Infant	1	4	7	9	2	3	5	6	4	5
合计 Total	55		70		75		78		84	

2.2 迁移和扩散

佛坪大坪峪地区临近秦岭山脉的主梁,因此,川金丝猴的栖息地范围内不存在人为限制川金丝猴迁移的屏障。但是鉴于本地区两群川金丝猴生活的分布距离,两猴群是否存在个体交流,目前尚无相关数据。因此在本研究中,对两猴群是否存在迁移分别进行模拟。当猴群存在迁移时,根据疣猴亚科灵长类群间的迁移报道^[20],结合两猴群间的实际距离,拟定川金丝猴大坪峪两种群间的迁移率为 5%,迁移过程中个体的死亡率为 50%。根据川金丝猴野外观察数据^[21],拟定雌雄两性均可能迁移,迁移的最小年龄为 3 岁,最大年龄为

20 岁。

2.3 繁殖体制

川金丝猴的繁殖体制为一夫多妻制。雌性首次生育年龄为 4.5 岁,雄性为 6.5 岁^[21]。根据该物种现有笼养的繁殖记录,其最高繁殖年龄为 20 岁^[22]。虽然 2004 年 3 月北京野生动物园川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)成功产下一对双胞胎,但是在野外观察条件下,从未有双胞胎的报道。因此,本研究中,设定川金丝猴每胎的最大产仔数为 1。基于 DPY1 群连续 5a 的观察,本猴群新生婴猴的雄性比例偏离了 50%,而是 66.6%(表 2)。

表 2 DPY1 群 5a 内婴猴出生参数
Table 2 Reproductive parameter of infant in the DPY1 group during passed five years

年份 Year	新生婴猴 Infant/个			新生雄性比 Rate of male in infants	生殖雄性/个 Adult male	雄性平均后代数 Average offspring per male
	雄性 Male	雌性 Female	合计 Total			
2011	1	4	5	0.25	6	0.83
2012	7	9	16	0.78	6	2.67
2013	2	3	5	0.67	6	0.83
2014	5	6	11	0.83	6	1.83
2015	4	5	9	0.8	6	1.5
均值 Mean	3.8	5.4	9.2	0.66	6	1.53
标准差 SD	2.39	2.3	4.6	0.24	0	0.77

2.4 死亡率

虽然目前没有川金丝猴的生命表,但是许多学者在笼养条件下,对川金丝猴各年龄段的死亡率进行了报道^[22]。因此,本研究依据现有成果,设定输入模型的各年龄段的死亡率和标准差(表 3)。

2.5 繁殖率

根据川金丝猴 DPY1 群的繁殖记录和川金丝猴玉皇庙群的研究结果^[21],如果新生婴猴能够成活,雌性的生育间隔平均为 1.82a;如果新生婴猴在 6 个月之内死亡,雌性的第 2 年可以继续生育,其生育间隔为 1.32a。假定所有成年雌性都具有繁殖能力,那么川金丝猴大坪峪群的出生间隔为: $(1.32 \times 0.55 + 1.82 \times 0.45) / 1 = 1.55a$,每年生育雌性的比例为 $(1.55)^{-1} = 0.645$ 。

2.6 灾害

由于本地区处于秦岭山脉中段,并且靠近秦岭的主梁,受自然灾害或其他因素(如传染病、火灾等)影响较小,本研究中不予考虑。同时,随着当地森林公安对盗猎行为打击力度的逐年增加,盗猎在本地区基本消失,本研究中也不予考虑。因此,设定模型的灾害参数为 0。

2.7 交配垄断

Vortex10.0 软件关于交配垄断设定了 3 个相互关联的参数,即繁殖系统中的雄性比例、平均每个繁殖周期中能够生育后代的雄性比例、每年繁殖雄性的平均子女数。这 3 个参数,通过其中一个参数,就能够计算出其他 2 个参数。本研究中,根据连续 5a 新生婴猴的记录和群内生殖雄性的个体数,计算每年繁殖雄性的平均子女数,输入 Vortex 软件,生成其他参数。(表 2)

表 3 川金丝猴各年龄段的死亡率/%
Table 3 Mortality of Sichuan snub-nosed monkeys in different age periods

年龄段 Age period	雄性 Male Mean±SD	雌性 Female Mean±SD
0—1	55.0±10.0	55.0±10.0
1—2	29.0±5.0	29.0±5.0
2—3	16.0±4.0	16.0±4.0
3—4	16.0±2.0	16.0±2.0
4—5	5.0±2.0	5.0±2.0
5—6	3.0±1.0	3.0±1.0
6—7	3.0±1.0	3.0±1.0
7—8	3.0±1.0	3.0±1.0
成年 Adult	3.0±1.0	3.0±1.0

2.8 环境容纳量

大坪峪地区川金丝猴栖息地范围为 29.91 km², 对于川金丝猴群在四季所需的栖息地面积, 前人已有报道^[23], 即春季 0.156 km²/只、夏季 0.105 km²/只、秋季 0.134 km²/只、冬季 0.136 km²/只。平均一年每只个体需要 0.133 km²。因此, 在本研究中, 大坪峪地区环境容纳量为 29.91/0.133=225 只。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

近交衰退是影响小种群长期存活的一个重要因素。Rallsd 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^[24]。因此本研究中, 采用 Vortex 软件默认的 3.14 作为致死等价系数^[25], 来模拟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

在一些野生动物的管理中, 为了保持种群的稳定, 会进行人为的捕获或者补充。对于本研究猴群, 2011 年至 2015 年间, 不存在人为的捕获和补充, 因此该参数设为 0。

3 结果

3.1 模拟无迁移条件下, 川金丝猴大坪峪种群未来 100a 内的种群数量动态

川金丝猴 DPY1 群与 DPY2 群无迁移的模拟条件下, DPY1 群未来 100a, 内禀增长率 $r = -0.02$, 周限增长率 $\lambda = 0.98$, 净生殖率 $R_0 = 0.59$, 雌性的平均世代时间 $T = 23.38$, 雄性的平均世代时间 $T = 24.63$ 。种群呈现出衰退趋势。在这过程中, 本群灭绝概率为 95.8%, 平均灭绝时间为 62.02a ($SD = 16.68$) (图 1)。

川金丝猴 DPY1 群与 DPY2 群无迁移模拟条件下, DPY2 种群未来 100a, 内禀增长率 $r = -0.02$, 周限增长率 $\lambda = 0.97$, 净生殖率 $R_0 = 0.56$, 雌性的平均世代时间 $T = 23.36$, 雄性的平均世代时间 $T = 24.61$ 。种群呈现出衰退趋势, 在这过程中, 本群川金丝猴灭绝概率为 93%, 平均灭绝时间为 67.34a ($SD = 15.21$) (图 1)。

3.2 模拟有迁移条件下, 川金丝猴大坪峪种群未来 100a 内的种群数量动态

川金丝猴 DPY1 群与 DPY2 群存在迁移的模拟条件下, DPY1 群未来 100a, 内禀增长率 $r = 0.018$, 周限增长率 $\lambda = 1.02$, 净生殖率 $R_0 = 1.04$, 雌性的平均世代时间 $T = 20.32$, 雄性的平均世代时间 $T = 20.09$ 。种群呈现出先上升后下降的趋势, 在这过程中, 本种群灭绝概率为 2%, 平均灭绝时间为 87.69a ($SD = 8.18$)。100a 后, 本群川金丝猴数量为 (66.46±38.02) 只。种群不会达到栖息地最大容纳量 (图 1)。

川金丝猴 DPY1 群与 DPY2 群存在迁移模拟条件下, DPY2 群未来 100a, 内禀增长率 $r = 0.02$, 周限增长率 $\lambda = 1.03$, 净生殖率 $R_0 = 1.01$, 雌性的平均世代时间 $T = 20.33$, 雄性的平均世代时间 $T = 20.1$ 。种群呈现出先上升后下降的趋势, 在这过程中, 本种群灭绝概率为 0.4%, 平均灭绝时间为 93a ($SD = 7.07$)。100a 后, 本群川金丝猴数量为 (87.31±35.40) 只。本群未达到栖息地最大容纳量 (图 1)。

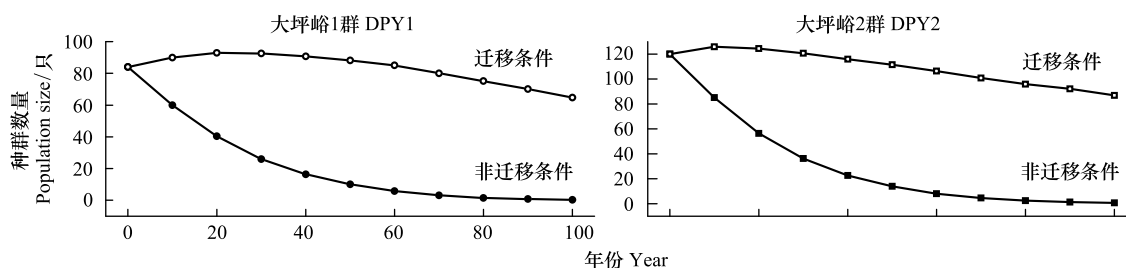


图 1 不同模拟条件下川金丝猴大坪峪种群数量动态

Fig.1 Dynamics of population size in different simulation conditions

3.3 迁移条件对川金丝猴大坪峪群基因杂合度和近交指数的影响

对于 DPY1 群而言, 不存在迁移条件下, 如果灭绝事件未发生, 100a 后, 本种群最终基因杂合性为 0.54±

0.19, 观测基因杂合性为 0.71 ± 0.28 ; 存在迁移条件下, 100a 后, 最终基因杂合性为 0.87 ± 0.08 , 观测基因杂合性为 0.91 ± 0.07 。是否存在个体的迁移对种群基因杂合度 ($t = -8.76$, $df = 200$, $P < 0.01$) (图 2) 和近亲交配指数 ($t = 5.668$, $df = 200$, $P < 0.01$) 影响显著 (图 2)。同时, 基因杂合度与种群大小成显著正相关 ($R = 0.835$, $P < 0.01$), 近交指数与种群大小成显著负相关 ($R = -0.819$, $P < 0.01$)。

对于 DPY2 群而言, 不存在迁移条件下, 如果灭绝事件未发生, 100a 后, 最终基因杂合性为 0.63 ± 0.17 , 观测基因杂合性为 0.77 ± 0.21 ; 存在迁移条件下, 100a 后, 最终基因杂合性为 0.91 ± 0.04 , 观测基因杂合性为 0.93 ± 0.04 。是否存在个体的迁移对种群基因杂合度 ($t = -8.95$, $df = 200$, $P < 0.01$) (图 2) 和近亲交配 ($t = 5.794$, $df = 200$, $P < 0.01$) 影响显著 (图 2)。同时, 基因杂合度与种群大小成显著正相关 ($R = 0.988$, $P < 0.01$), 近交指数与种群大小成显著负相关 ($R = -0.994$, $P < 0.01$)。

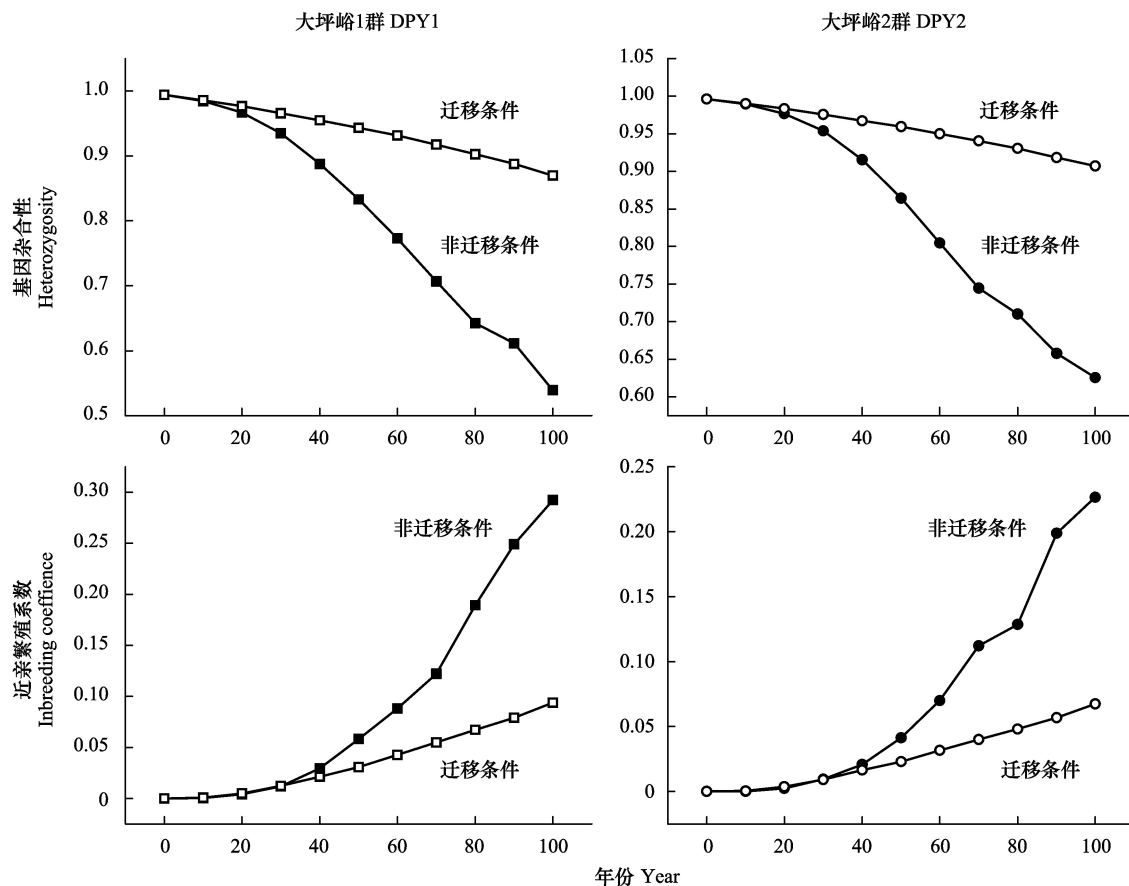


图 2 不同模拟条件下川金丝猴大坪峪群基因杂合率和近亲繁殖系数的变化趋势

Fig.2 The general variation trend of heterozygosity and inbreeding coefficients about DPY group during next 100 years

4 讨论

迁移和扩散是野生动物种群中一个重要的行为。在具有迁移和扩散种群中, 个体通过扩散和迁移, 寻找和开拓新的生境和资源, 降低亲缘个体间的资源竞争, 避免近亲繁殖, 降低遗传漂变, 增加不同种群间的遗传基因交流, 从而增加个体和种群存活的机会。当野生动物种群失去迁移和扩散, 种群中的个体受到隔离效应的影响, 近亲繁殖和遗传漂变潜在的可能性增加, 种群的遗传多样性下降, 最终直接影响到物种的存活和进化潜力, 迫使种群进入灭绝的漩涡^[26]。

在本研究中, 大坪峪 DPY1 群和 DPY2 群, 当失去个体之间的迁移和扩散, 100a 内, 灭绝概率为 95.8% 和 93%; 如果建立个体间的迁移和扩散, 100a 内, 灭绝概率就降低为 2% 和 0.4%, 不仅如此, 两个种群均表现出上

升的趋势,尽管没有达到环境的最大容纳量,但是两个种群均表现出潜在的增长能力。

一个物种要长期生存,必须要有足够的遗传变异量来适应环境变化,即物种产生的遗传变异必须等于遗传漂变的损失量。但是对于小种群来说,遗传漂变致使每代遗传多样性丢失 $1/2N_e$ (N_e 是有效种群数量),因此遗传突变率比损失率低几个数量级^[27],因此近交衰退对小种群的长期存活具有重要的影响作用。在本研究中(表 4),在不同的模拟条件下,无论是大坪峪 DPY1 群还是 DPY2 群,在未来 100a 中,基因杂合度都下降,但是下降的程度存在明显的差异,近亲指数都上升,但是上升的程度同样差异明显。因此,种群间的迁移和扩散代表了基因交流,并且是对川金丝猴遗传多样性起决定性的影响。如果今后增加种群间的个体扩散,使其基因突变率和损失率相等,种群就可以在进化中适应环境变化,长期存活下去。

表 4 两种不同条件下的模拟参数和结果

Table 4 Data input to the model and results in 2 situations

个体迁移 Dispersal	初始种群 Initial population size		环境容纳量 Carrying capacity/只	模拟时间 Time	内禀增 长率 R Intrinsic growth rate R	灭绝概率 Probability of extinct	最终种 群数量 Final population size	标准差 SD standard deviation SD	灭绝时间 Extinct time	基因杂合率 Gene heterozygosity	近交指数 I nbreeding coefficient
N	DPY1	84	145	100	-0.022	0.958	5.38	3.96	62.02	0.539	0.30
Y	DPY1	84	145	100	0.018	0.026	64.75	38.97	87.69	0.869	0.09
N	DPY2	120	145	100	-0.021	0.930	7.03	4.41	67.34	0.625	0.23
Y	DPY2	120	145	100	0.019	0.004	87.31	34.40	93.00	0.907	0.07

N: 否;Y: 是;DPY1:大坪峪 1 群;DPY2:大坪峪 2 群

川金丝猴大坪峪群即使在有交流的情况下,未来 100a 内依然存在灭绝的风险,尽管风险很低,但是依然存在,其主要原因是近亲交配的存在。如果有个体迁移,近亲繁殖行为在 100a 内对大坪峪群的影响并不明显,但是近交衰退对小种群长期存活具有负面作用。川金丝猴大坪峪群所在的栖息环境,随着 1998 年实施天然林保护工程实施,栖息地环境已经得到好转。但是由于历史上森林砍伐严重,栖息地破碎化依然严重。鉴于此,增加秦岭山脉川金丝猴不同群间的个体交流,减少近亲繁殖对本物种的影响,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 (References):

[1] 覃建庸, 陈名红, 向左甫. VORTEX 模型及其在小种群保护中的作用. 安徽农业科学, 2008, 36(20): 8783-8785, 8787-8787.

[2] 鲁庆彬, 王小明, 丁由中. 集合种群理论在生态恢复中的应用. 生态学杂志, 2004, 23(6): 63-70.

[3] Lacy R C. VORTEX: a computer simulation model for population viability analysis. Wildlife Research, 1993, 20(1): 45-65

[4] 田瑜, 邬建国, 寇晓军, 王天明, Smith A T, 葛剑平. 种群生存力分析(PVA)的方法与应用. 应用生态学报, 2011, 22(1): 257-267.

[5] 张先锋, 王丁, 王克雄. 漩涡模型及其在白暨豚种群管理中的应用. 生物多样性, 1994, 2(3): 133-139.

[6] 李欣海, 李典谟, 雍严格, 张坚. 佛坪大熊猫种群生存力分析的初步报告. 动物学报, 1997, 43(3): 285-293.

[7] 郭建, 胡锦矗. 冶勒地区大熊猫种群生存力分析. 南京林业大学学报, 1999, 23(5): 27-30.

[8] 李欣海, 李典谟, 路宝忠, 翟天庆. 朱鹮(*Nipponia nippon*)种群生存力分析. 生物多样性, 1996, 4(2): 69-77.

[9] 张先锋, 王克雄. 长江江豚种群生存力分析. 生态学报, 1999, 19(4): 529-533.

[10] 侯万儒, 张泽钧, 胡锦矗. 卧龙自然保护区黑熊种群生存力初步分析. 动物学研究, 2001, 22(5): 357-361.

[11] 范朋飞, 蒋学龙. 无量山大寨子黑长臂猿(*Nomascus concolor jingdongensis*)种群生存力. 生态学报, 2007, 27(2): 620-626.

[12] 杨业勤, 雷孝平, 杨传东. 黔金丝猴的野外生态. 贵阳: 贵州科技出版社, 2002: 99-102.

[13] 肖文, 霍晟, 向左甫, 崔亮伟. 黑白仰鼻猴种群生存力初步分析. 动物学研究, 2005, 26(1): 9-6.

[14] 桂小杰, 向左甫, 李立. 黄腹角雉人工种群生存力初步分析. 动物学研究, 2007, 28(6): 626-633.

[15] Li B G, Pan R L, Oxnard C E. Extinction of snub-nosed monkeys in China during the past 400 years. International Journal of Primatology, 2002, 23(6): 1227-1244.

[16] 王晓卫, 于晓平, 齐晓光, 余小玉, 胡永乐. 生境破碎化对非人灵长类生存影响的研究. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2006, 34(S1): 113-116.

- [17] Guo S T, Ji W H, Li B G, Li M. Response of a group of Sichuan snub-nosed monkeys to commercial logging in the Qinling mountains, China. *Conservation Biology*, 2008, 22(4): 1055-1064.
- [18] 国家林业局西北林业调查规划设计院. 陕西观音山自然保护区总体规划. 西安: 国家林业局西北林业调查规划设计院, 2002.
- [19] Lacy R C, Borbat M, Pollak J P. VORTEX: A Stochastic Simulation of the Extinction Process. Version 9. Brookfield, IL: Chicago Zoological Society, 2003.
- [20] Moore J. Female transfer in primates. *International Journal of Primatology*, 1984, 5(6): 537-589.
- [21] Qi X G, Li B G, Garber P A, Ji W H, Watanabe K. Social dynamics of the golden snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*): female transfer and one-male unit succession. *American Journal of Primatology*, 2009, 71(8): 670-679.
- [22] 梁冰, 戚汉君, 张树义, 任宝平. 笼养川金丝猴不同年龄阶段的发育特征. *动物学报*, 2001, 47(4): 381-387.
- [23] Li B, Chen C, Ji W, Ren B. Seasonal home range changes of the Sichuan snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*) in the Qinling Mountains of China. *Folia Primatologica*, 2000, 71(6): 375-386.
- [24] Ralls K, Ballou J D, Templeton A. Estimates of lethal equivalents and the cost of inbreeding in mammals. *Conservation Biology*, 1998, 2(2): 185-193.
- [25] Miller P S, Lacy R C. VORTEX: A Stochastic Simulation of the Extinction Process. Version 9 User's Manual. Apple Valley, MN: Conservation Breeding Specialist Group (SSC/IUCN), 2003.
- [26] 武正军, 李义明. 生境破碎化对动物种群存活的影响. *生态学报*, 2003, 23(11): 2424-2435.
- [27] Lande R, Barrowclough G F. Effective population size, genetic variation, and their use in population management // Soule M E, ed. *Viable Populations for Conservation*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987: 87-23.