

圈养大熊猫生命表及种群动态研究

赵素芬¹, 张成林^{1,2*}, 谢钟³, 王运盛^{1,2}, 刘学锋^{1,2}, 贾婷^{1,2}, 夏茂华^{1,2}, 胡昕^{1,2}

(1. 圈养野生动物技术北京市重点实验室, 北京 100044; 2. 北京动物园, 北京 100044; 3. 中国动物园协会, 北京 100037)

摘要: 大熊猫 *Ailuropoda melanoleuca* 为我国特有濒危物种。圈养大熊猫是大熊猫保护的一项重要策略, 国家林业局公布的全国第四次大熊猫调查结果显示, 大熊猫的繁育保护工作取得可喜成绩, 圈养种群规模快速发展。为评估圈养大熊猫种群的发展与圈养种群的未来增长趋势的关系, 通过对大熊猫国际谱系(2015)内 990 只圈养大熊猫基本信息进行分析, 统计各年内存活超过 100 d 的个体数量并绘制其存活曲线; 编制圈养大熊猫种群的生命表, 绘制死亡曲线及存活曲线, 计算其内禀增长能力。结果显示: 自 2005 年之后, 每年存活的圈养大熊猫个体数量均超过 20 只, 个别年份超过 30 只, 2013 年和 2015 年则超过 40 只; 圈养大熊猫的寿命期望值较长, 2~25 岁死亡率低, 绝大多数圈养个体都能活到生理年龄, 在生理寿命上特征稳定; 净增殖率、内禀增长率和周限增长率分别为 2.248 4、0.062 3 和 1.064 3, 说明圈养大熊猫种群目前仍存在发展上升的空间, 种群结构整体上相对稳定。

关键词: 圈养大熊猫; 生命表; 内禀增长能力; 种群动态

中图分类号: Q959.8; Q95 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7083(2017)02-0145-07

Life Table and Population Dynamic Analysis of Captive Giant Pandas

ZHAO Sufen¹, ZHANG Chenglin^{1,2*}, XIE Zhong³, WANG Yunsheng^{1,2},

LIU Xuefeng^{1,2}, JIA Ting^{1,2}, XIA Maohua^{1,2}, HU Xin^{1,2}

(1. Beijing Key Laboratory of Captive Wildlife Technologies, Beijing 100044, China; 2. Beijing Zoo, Beijing 100044, China; 3. Chinese Association of Zoological Gardens, Beijing 100037, China)

Abstract: The giant panda is Chinese endemic endangered species, and captivity is an important strategy for giant panda protection. The fourth giant panda survey published by the state forestry administration showed that the giant panda breeding protection work had gained gratifying achievements, and captive population scale developed rapidly. To evaluate the relationship between the development of captive population and the future growth trend, the survival curve of captive giant panda more than 100 days old, life table, mortality curve, survival curve, and innate increase capacity were estimated through analyzing the basic information of 990 captive giant pandas in the 2015 International Studbook for Giant Panda. The results showed that, the number of survival giant panda per year was more than 20 or even 30 from 2005, and more than 40 in 2013 and 2015. The captive giant panda had long life expectancy, low mortality between the ages of 2 and 25, and the vast majority of captive individuals could live to their biological age. All these findings suggested that the captive giant panda has relatively stable characteristics in their natural life; moreover, the net reproductive rate, innate increase capacity and finite rate of increase were 2.248 4, 0.062 3 and 1.064 3, respectively. These results suggested that the population of captive giant pandas is a relatively stable, but still has a large space for development.

Keywords: captive giant panda; life table; innate capacity of increase; population dynamic

大熊猫 *Ailuropoda melanoleuca* 为我国特有物种, 已在地球上生存了至少 800 万年, 被誉为“活化石”和“中国国宝”, 是世界自然基金会的形象大使(徐庆刚, 2009; 邓怀庆, 2013)。由于栖息地面积缩小、质量衰退, 且破碎化严重, 大熊猫的生存受到严

重威胁, 被中国红皮书列为濒危物种, 属于国家 I 级重点保护野生动物(胡锦涛, 1985)。鉴于大熊猫在保护生物学上重要的地位及学术研究价值, 其生存和保护现状为世人所关注, 是世界生物多样性保护的旗舰物种(张玲等, 2015; 周世强等, 2015)。

收稿日期: 2016-08-18 接受日期: 2016-12-01

基金项目: 大熊猫国际资金项目(AD1418)

作者简介: 赵素芬(1984—), 女, 博士, 主要从事动物传染病发病与免疫机制研究、发育组织学研究

* 通信作者 Corresponding author, 高级兽医师, 主要从事野生动物疫病防治和研究工作, E-mail: zhch6465@263.net

圈养大熊猫是大熊猫迁地保护的重要手段(王芳等,2007),为大熊猫的展示和研究保护奠定了基础(许秀,2012)。圈养大熊猫的最早记载始于 1936 年,而我国大熊猫的人工饲养始于 1953 年(章鸚鸚,2010)。圈养大熊猫种群的发展动态也是学者关注的热点。黄炎等(2001)根据 1999 年大熊猫谱系统计发现,圈养大熊猫种群数量在 1936—1999 年是下降的。近年来,大熊猫的繁育保护工作取得可喜成绩,国家林业局公布的全国第四次大熊猫调查结果显示,截至 2013 年末,全国圈养大熊猫种群数量达到 375 只,圈养种群规模快速发展(耿国彪,2015)。近年圈养大熊猫种群的发展与圈养种群的未来增长趋势的关系如何?

为此,本研究根据大熊猫国际谱系(2015)收集了 1936—2015 年全世界 990 只圈养大熊猫的基础数据,在种群年龄结构研究的基础上编制了圈养大熊猫的生命表,计算圈养大熊猫种群的内禀增长能力(innate capacity of increase),统计种群增长速度的各项参数,以期进一步了解圈养条件下大熊猫种群的动态发展趋势,为圈养种群的管理及繁育保护提供参考资料。

1 材料和方法

1.1 研究材料

结合大熊猫国际谱系(2015),收集 1936—2015 年全世界 990 只圈养大熊猫资料,统计其出生时间、死亡时间、年龄、性别等基本信息,计算各年龄阶段雄性和雌性个体的年龄配置(即雄性和雌性个体数分别占该年龄阶段总个体数的百分比)及性比。统计数据显示,被测群体最高存活年龄为 37 岁,据此从 0 岁(刚出生或流产个体)到 37 岁,共划分 38 个年龄阶段来评估这个统计群体的基本生物学信息;其中,59 例个体或因从野外捕获/救助缺失出生日期,或因死亡日期丢失,无法计算年龄,故以“未知”标示;同时,由于大熊猫特殊的生理特征,幼龄(尤其是 0~1 岁阶段)性别不易区分,而缺失了这个信息,本文将之标示为“不详”(表 1)。

1.2 研究方法

1980 年成都大熊猫繁育研究基地(CD)首次采用冷冻精液技术,培育出了全球第一只人工繁育大熊猫,为圈养大熊猫的繁育开辟了新的途径(叶志勇,1980)。本研究统计 1980—2015 年各年初生且

存活超过 100 d 的个体总数,使用 SigmaPlot 12.0,以年(year)为横坐标、各年内初生且存活超过 100 d 的个体总数为纵坐标,绘制存活超过 100 d 的个体的存活曲线图;对圈养大熊猫各年龄阶段内的个体总数、死亡个体总数进行统计,并编制圈养大熊猫种群的生命表;根据生命表,使用 SigmaPlot 12.0,以大熊猫年龄(x)为横坐标、死亡率(q_x)和各年龄开始的存活数的对数($\lg n_x$)为纵坐标,分别绘制死亡曲线图和存活曲线图;结合基础资料计算圈养大熊猫种群内禀增长能力,分析其种群发展趋势(Andrewartha & Birch,1954;江延安,1998;黄炎等,2001;孙儒泳,2001)。

其中,生命表各参数含义及计算方法如下(黄炎等,2001;孙儒泳,2001;赵素芬等,2016):

x :研究个体的年龄;

n_x :各年龄开始时的存活数;

l_x :各年龄开始时的存活分数, $l_x = n_x/n_0$;

L_x :从 x 到 $x+1$ 岁生存个体年数, $L_x = (l_x + l_{x+1})/2$;

d_x :各年龄死亡个体数;

q_x :各年龄死亡率, $q_x = d_x/n_x$;

T_x : x 岁的个体未来累计生存个体数, $T_x = L_x + T_{x+1}$;

e_x :生命期望平均余年, $e_x = T_x/n_x$ 。

内禀增长能力各参数含义及计算方法如下(江延安,1998;孙儒泳,2001;赵素芬等,2016):

x :研究个体的年龄;

N_x :各年龄开始的雌性个体存活数;

l_x :各年龄开始的雌性个体存活分数, $l_x = N_{x+1}/N_x$;

m_x :每雌产雌率, $m_x = (x \text{ 期个体数} \times \text{性比}) / [(N_x + N_{x+1})/2]$;

R_0 :净增殖率, $R_0 = \sum l_x m_x$;假设 $R_0 = 1$,那么种群的出生率与死亡率相等,经过一个世代以后,正好更新其自身,不增也不减; $R_0 > 1$,则出生率大于死亡率,种群数量增加, R_0 越大,数量增加越多;

T :平均世代长度, $T = \sum x l_x m_x / R_0$,衡量母代到子代生殖的平均时间;

r_m :内禀增长率, $r_m = \ln R_0 / T$;

λ :周限增长率, $\lambda = e^{r_m}$; $\lambda > 1$,种群数量上升, $\lambda = 1$,种群稳定, $0 < \lambda < 1$,种群数量下降。

表 1 1936—2015 年圈养大熊猫种群结构
Table 1 Population structure of captive giant pandas between 1936 and 2015

年龄 Age/岁	数量 Number/只				年龄配置 Age configuration/%				性比 Sex ratio
	雄 Male	雌 Female	不详 Unknown	总数 Sum	雄 Male	雌 Female	不详 Unknown	总数 Sum	
0	19	7	61	87	0.218 4	0.080 5	0.701 1	0.087 9	2.71
1	55	47	46	148	0.371 6	0.317 6	0.310 8	0.149 5	1.17
2	28	24	5	57	0.491 2	0.421 1	0.087 7	0.057 6	1.17
3	23	31	1	55	0.418 2	0.563 6	0.018 2	0.055 6	0.74
4	18	14	0	32	0.562 5	0.437 5	0.000 0	0.032 3	1.29
5	8	20	0	28	0.285 7	0.714 3	0.000 0	0.028 3	0.40
6	19	25	0	44	0.431 8	0.568 2	0.000 0	0.044 4	0.76
7	17	17	1	35	0.485 7	0.485 7	0.028 6	0.035 4	1.00
8	16	18	0	34	0.470 6	0.529 4	0.000 0	0.034 3	0.89
9	12	23	0	35	0.342 9	0.657 1	0.000 0	0.035 4	0.52
10	13	21	1	35	0.371 4	0.600 0	0.028 6	0.035 4	0.62
11	17	10	0	27	0.629 6	0.370 4	0.000 0	0.027 3	1.70
12	16	4	0	20	0.800 0	0.200 0	0.000 0	0.020 2	4.00
13	7	18	0	25	0.280 0	0.720 0	0.000 0	0.025 3	0.39
14	6	9	0	15	0.400 0	0.600 0	0.000 0	0.015 2	0.67
15	9	7	0	16	0.562 5	0.437 5	0.000 0	0.016 2	1.29
16	17	12	0	29	0.586 2	0.413 8	0.000 0	0.029 3	1.42
17	10	13	0	23	0.434 8	0.565 2	0.000 0	0.023 2	0.77
18	7	11	0	18	0.388 9	0.611 1	0.000 0	0.018 2	0.64
19	8	7	0	15	0.533 3	0.466 7	0.000 0	0.015 2	1.14
20	3	8	0	11	0.272 7	0.727 3	0.000 0	0.011 1	0.38
21	4	11	0	15	0.266 7	0.733 3	0.000 0	0.015 2	0.36
22	3	9	0	12	0.250 0	0.750 0	0.000 0	0.012 1	0.33
23	6	11	0	17	0.352 9	0.647 1	0.000 0	0.017 2	0.55
24	9	5	0	14	0.642 9	0.357 1	0.000 0	0.014 1	1.80
25	3	6	0	9	0.333 3	0.666 7	0.000 0	0.009 1	0.50
26	2	10	0	12	0.166 7	0.833 3	0.000 0	0.012 1	0.20
27	6	4	0	10	0.600 0	0.400 0	0.000 0	0.010 1	1.50
28	3	7	0	10	0.300 0	0.700 0	0.000 0	0.010 1	0.43
29	7	4	0	11	0.636 4	0.363 6	0.000 0	0.011 1	1.75
30	3	5	1	9	0.333 3	0.555 6	0.111 1	0.009 1	0.60
31	3	4	0	7	0.428 6	0.571 4	0.000 0	0.007 1	0.75
32	0	3	0	3	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.003 0	0.00
33	0	2	0	2	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.002 0	0.00
34	1	1	0	2	0.500 0	0.500 0	0.000 0	0.002 0	1.00
35	0	2	0	2	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.002 0	0.00
36	1	3	0	4	0.250 0	0.750 0	0.000 0	0.004 0	0.33
37	1	2	0	3	0.333 3	0.666 7	0.000 0	0.003 0	0.50
未知	21	31	7	59	0.355 9	0.525 4	0.118 6	0.059 6	0.68

2 结果

2.1 圈养大熊猫种群的生命表

根据圈养大熊猫国际谱系(2015)统计各年内初生且存活超过 100 d 的个体数。结果显示:1980—2004 年间,1986 年、1992 年、1999 年、2000 年和 2003 年存活超过 100 d 的个体数分别为 10、11、14、18 和 16 只,其余的均少于 10 只,且 1993 年之前 12 年内的统计数量均 ≤ 5 只,个别年(1984 年、1987 年和 1988 年)仅 1 只;自 2005 年之后的 11 年,每年存活超过 100 d 的个体数量大幅增加,均 ≥ 20 只,其中 2006 年、2008 年、2010 年、2014 年分别为 30 只、31 只、32 只和 32 只,2013 年和 2015 年存活超过 100 d 的个体数量分别为 41 只和 40 只(图 1)。

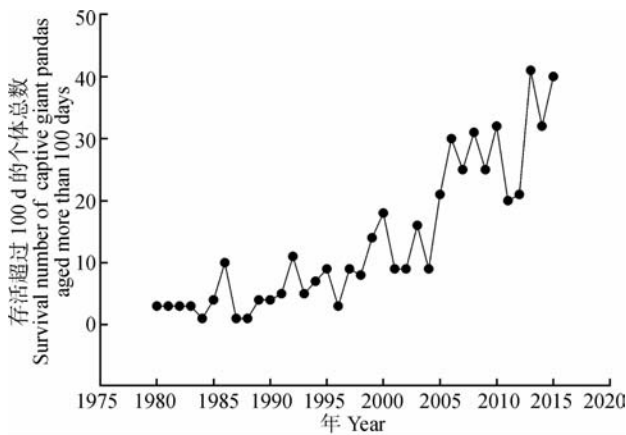


图 1 圈养大熊猫各年内初生且存活超过 100 d 的个体的存活曲线
Fig. 1 The survival curve of newborn captive giant pandas that more than 100 days old

根据圈养大熊猫谱系及表 1 数据,编制 1936—2015 年圈养大熊猫的生命表(表 2)。e_x 结果显示:0~1 岁个体平均可再活 10.04 年,2~3 岁个体平均可再活 11.03 年,4~7 岁个体平均可再活 10.44 年,8~12 岁个体平均可再活 9.41 年,13~14 岁个体平均可再活 8.51 年,15~18 岁个体平均可再活 7.41 年,19~20 岁个体平均可再活 6.66 年,21~23 岁个体平均可再活 5.54 年,24~26 岁个体平均可再活 4.56 年,27~32 岁个体平均可再活 3.29 年,33~34 岁个体平均可再活 2.52 年,35 岁的个体平均可再活 1.61 年,36~37 岁个体平均可再活 0.72 年。可见,年龄低于 20 岁的圈养大熊猫的 e_x 均达 6 年以上;除 0~1 岁个体的 e_x 较 2 岁、3 岁个体短外,随着年龄增长,圈养大熊猫平均可再活年龄缩短,高于 35 岁个体的再存活概率较小。

表 2 圈养大熊猫的生命表

Table 2 Life table of captive giant pandas

年龄 x /岁	各年龄开始时的存活数 n _x	各年龄开始时的存活分数 l _x	各年龄死亡个体数 d _x	各年龄死亡率 q _x	生命期望平均余年 e _x
0	931	1.000 0	87	0.093 4	10.05
1	844	0.906 6	110	0.130 3	10.03
2	696	0.747 6	25	0.035 9	11.06
3	639	0.686 4	15	0.023 5	11.00
4	584	0.627 3	15	0.025 7	10.99
5	552	0.592 9	10	0.018 1	10.60
6	524	0.562 8	15	0.028 6	10.14
7	480	0.515 6	11	0.022 9	10.03
8	445	0.478 0	9	0.020 2	9.77
9	411	0.441 5	11	0.026 8	9.54
10	376	0.403 9	6	0.016 0	9.38
11	341	0.366 3	9	0.026 4	9.29
12	314	0.337 3	7	0.022 3	9.05
13	294	0.315 8	8	0.027 2	8.63
14	269	0.288 9	7	0.026 0	8.39
15	254	0.272 8	7	0.027 6	7.85
16	238	0.255 6	9	0.037 8	7.35
17	209	0.224 5	10	0.047 8	7.30
18	186	0.199 8	12	0.064 5	7.14
19	168	0.180 5	8	0.047 6	6.85
20	153	0.164 3	10	0.065 4	6.47
21	142	0.152 5	9	0.063 4	5.94
22	127	0.136 4	9	0.070 9	5.58
23	115	0.123 5	12	0.104 3	5.11
24	98	0.105 3	8	0.081 6	4.91
25	84	0.090 2	7	0.083 3	4.64
26	75	0.080 6	10	0.133 3	4.14
27	63	0.067 7	9	0.142 9	3.83
28	53	0.056 9	9	0.169 8	3.46
29	43	0.046 2	8	0.186 0	3.15
30	32	0.034 4	6	0.187 5	3.06
31	23	0.024 7	5	0.217 4	3.07
32	16	0.017 2	2	0.125 0	3.19
33	13	0.014 0	1	0.076 9	2.81
34	11	0.011 8	1	0.090 9	2.23
35	9	0.009 7	2	0.222 2	1.61
36	7	0.007 5	3	0.428 6	0.93
37	3	0.003 2	3	1.000 0	0.50

分析随年龄变化圈养大熊猫的死亡情况,结果显示:圈养大熊猫在 0 岁和 1 岁的死亡率较高,分别为 0.093 4 和 0.130 3;2 岁的死亡率大幅下降,为 0.035 9;3~15 岁的死亡率最低,为 0.016 0~0.028 6;

除 23 岁死亡率为 0.104 3 外,16 ~ 25 岁维持在 0.037 8 ~ 0.083 3;26 岁以后,圈养大熊猫死亡率升高,26 ~ 32 岁维持在 0.125 0 ~ 0.217 4,33、34 岁的死亡率略有降低,分别为 0.076 9 和 0.090 9,35 岁之后的死亡率大幅增加(图 2)。

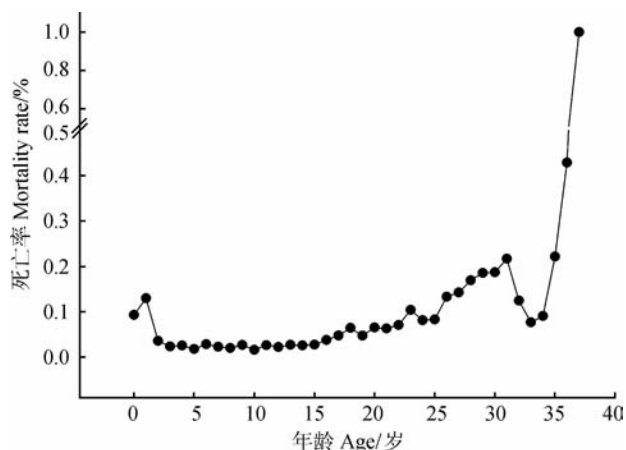


图 2 圈养大熊猫的死亡曲线
Fig. 2 The mortality curve of captive giant pandas

圈养大熊猫的存活曲线属于 I 型(凸型)曲线(Deevey, 1947),绝大多数圈养个体都能活到生理年龄,即在接近生理寿命前只有少数个体死亡(图 3)。

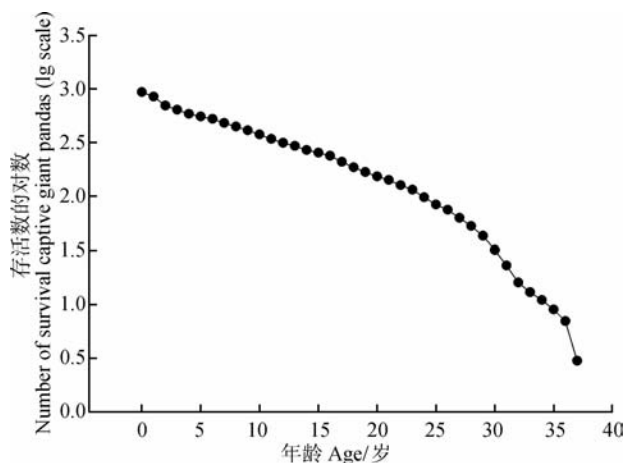


图 3 圈养大熊猫的存活曲线
Fig. 3 The survival curve of captive giant pandas

2.2 圈养大熊猫种群的内在增长能力和种群动态

目前记载的最高生育年龄的圈养大熊猫为重庆动物园 21 岁的“新星”。因此,结合表 1 中的繁殖率、性及各年龄阶段开始时的雌性个体存活数,计算圈养大熊猫的 m_x ,列出圈养大熊猫在可繁殖年龄(5 ~ 21 岁)的内在增长能力表(表 3),计算出圈养大熊猫种群的 $R_0 = 2.248 4$, $T = 13.009 8$;可见,圈养大熊猫经过一个世代(13.009 8 年),平均每只雌

性大熊猫可以生产约 2.25 只雌性个体。

根据 T 及 R_0 结果,计算出圈养条件下种群的 $r_m = 0.062 3$,即圈养大熊猫种群以平均每年每雌生产 0.062 3 只雌性后代的速度增长; $\lambda = 1.064 3 > 1$,可知圈养大熊猫种群数量具有上升的潜力。

表 3 圈养大熊猫种群内禀增长能力
Table 3 The innate increase capacity of captive giant pandas

年龄 x /岁	各年龄开始 的雌性个体 存活数 N_x	各年龄开始 的雌性个体 存活分数 l_x	每雌产 雌率 m_x	$l_x m_x$	$x l_x m_x$
0	435	1.000 0	0	0	0
1	428	0.983 9	0	0	0
2	381	0.890 2	0	0	0
3	357	0.937 0	0	0	0
4	326	0.913 2	0	0	0
5	312	0.957 1	0.037 1	0.035 5	0.177 5
6	292	0.935 9	0.119 6	0.112 0	0.671 8
7	267	0.914 4	0.135 4	0.123 8	0.866 6
8	250	0.936 3	0.125 6	0.117 6	0.940 5
9	232	0.928 0	0.082 5	0.076 6	0.689 4
10	209	0.900 9	0.109 3	0.098 5	0.984 8
11	188	0.899 5	0.250 8	0.225 6	2.481 8
12	178	0.946 8	0.454 5	0.430 4	5.164 4
13	174	0.977 5	0.059 1	0.057 8	0.750 9
14	156	0.896 6	0.066 3	0.059 5	0.832 6
15	147	0.942 3	0.143 8	0.135 5	2.033 0
16	140	0.952 4	0.307 3	0.292 7	4.682 9
17	128	0.914 3	0.145 8	0.133 3	2.265 5
18	115	0.898 4	0.105 2	0.094 5	1.701 4
19	104	0.904 3	0.170 1	0.153 9	2.923 6
20	97	0.932 7	0.044 9	0.041 9	0.838 4
21	89	0.917 5	0.064 7	0.059 3	1.246 1
Σ		$R_0 = \Sigma l_x m_x = 2.248 4$			29.251 2

3 讨论

近年来,在国家政策、法律法规的制约,社会各界及各级动物保护部门的共同努力下,我国大熊猫保护事业取得了长足发展,逐步扭转了大熊猫数量急剧减少的趋势。全国第四次大熊猫调查显示:全国野生大熊猫种群数量达到 1 864 只,比第三次调查增加 268 只,增长 16.8%;圈养大熊猫种群数量增加 211 只,增加了 128.66%(耿国彪,2015)。可见,2 次全国大熊猫调查相距的 10 年间,我国大熊猫的保护工作取得了明显的成绩。双胞胎的存活率是初生大熊猫存活率高低的的关键影响因素,初生大熊猫幼仔的 0 ~ 3 d 是一个危险期,而双胞胎的 0 ~ 3 d 和 4 ~ 30 d 是危险期

(黄炎等,2001)。通过驯化采集大熊猫初乳,确保大熊猫双胞胎幼仔获得足量初乳,使其成活率从 70% 提高到 90% 以上,乃至近年的 100% (王鹏彦等,2003)。本研究通过统计 1980—2015 年各年初生且存活超过 100 d 的个体数,借以统计每年存活的新生大熊猫个体数量,结果显示:2000 年以前,每年存活超过 100 d 的个体数量均较少,大部分在 10 只以下,而自 2005 年之后,每年存活超过 100 d 的个体数量均超过 20 只,其中 2006 年、2008 年、2010 年和 2014 年的存活数量超过 30 只,尤其是 2013 年和 2015 年的存活数量超过 40 只,这为圈养种群规模快速发展奠定了坚实的基础。

本研究生命表数据显示:圈养大熊猫最高存活年龄为 37 岁;20 岁以前,圈养大熊猫种群生命期望值长;随着年龄的增长,平均可再活年龄缩短,高于 35 岁的个体再存活概率较小。结合死亡曲线与存活曲线显示:圈养大熊猫在出生后 2 年内的死亡率略高,2~15 岁的死亡率较低,之后死亡率缓慢升高,25 岁后死亡率迅速上升;其存活曲线接近哺乳动物及人类的存活曲线,属于 I 型。综合以上数据,近年来圈养大熊猫种群寿命期望值较长,各年龄段死亡率低,种群数量波动小。与黄炎等(2001)编制的圈养大熊猫种群生命表相比,本生命表中 0 岁个体的 e_x 长 3.39 年,这与大熊猫人工育幼所取得的突破性进展密切相关(李德生等,2002);与此同时,本生命表中 e_x 超过 5 年的个体已由 18 岁增长至 23 岁,这与科学、医药、饲养技术的提高及野生动物繁育保护工作的大量开展息息相关(Saunier & Doré,2002)。与魏辅文等(1989)编制的野生大熊猫生命表相较,不仅圈养大熊猫的最长寿命远长于野生大熊猫的 26 岁,且在 26 岁前各年龄阶段的 e_x 均长 4.28~6.92 年,这可能是由于我国圈养大熊猫的人工饲养已有 62 年的历史,圈养经验丰富,且人为排除不利的环境条件,如捕食者及疾病的影响,同时提供理想和充足的食物,极大提高了圈养大熊猫的生存期望值。

种群的内禀增长能力是指种群的瞬时增长率,是刻画种群增长能力的一个理想的指标,它通常指实验室“最适”条件下测定的种群增长率(Andrewartha & Birch,1954;张含藻等,1992)。虽然在圈养条件下,大熊猫面临着环境单一、活动空间狭小及长期面对大量旅游者等压力,导致大熊猫个体行为改变,如产生刻板行为(Liu *et al.*,2003;刘娟等,2005;杨春花,王小明,2006);且圈养种群分布在多个饲养单位,彼此间

缺乏必要的基因交流(孙小雅等,2013;Shan *et al.*,2014),出现较明显的“建群者效应”,各建群者的贡献率不均衡而导致遗传多样性丧失(Shen *et al.*,2009;杨波等,2013),但我国圈养大熊猫经验丰富,自 20 世纪 90 年代以后,随着对繁殖、营养、疾病防治等领域的深入研究,大熊猫的数量迅速增加(孙小雅等,2013)。大熊猫种群的变化特征受大熊猫种群内在的繁殖特征、饲养技术、繁殖技术、育幼技术及政策指导等诸多因素影响,分析现今圈养体系下大熊猫种群的内禀增长能力,能够刻画该体系圈养大熊猫种群的瞬时增长能力,借以评估其动态发展趋势。本研究统计结果显示:圈养大熊猫经过一个世代(13.009 8 年),平均每个雌性大熊猫生产约 2.25 只雌性个体,并且 $r_m = 0.062 3$, $\lambda = 1.064 3$,圈养大熊猫种群上升,这与黄炎等(2001)的统计结果完全不同。可见,自 1999 年之后,随着大熊猫圈养及人工繁育技术的发展,圈养大熊猫种群动态发展趋势良好。

大熊猫在几百万年间由盛而衰以至濒临绝灭,是受其食性、繁殖能力和育幼行为的高度特化及人类活动等诸多因素影响(胡杰,2003;徐庆刚,2009)。其中,繁殖能力是影响大熊猫种群发展的一个重要因素(Nie *et al.*,2012)。圈养大熊猫存在一些由行为障碍导致的问题,比如发情难、交配成功率低、刻板行为。经过多年努力,各方研究也取得了一定成就,但却没能从根本上解决问题(周晓等,2013b)。圈养亚成年个体缺乏后天的正向诱导、激发和学习自然交配能力的机会,这可能导致雄性大熊猫缺乏自然交配能力(胡锦涛,1988),且许多大熊猫的生殖系统严重发育不良,雌性大熊猫每年只发情一次,且雌雄个体择偶性极强(Swaisgood *et al.*,2003;周晓等,2013a),如果一个小种群内缺乏足够优良的雄兽,雌雄正常交配的机会显然会大大降低;且在繁殖年龄段内,圈养大熊猫种群各年龄段性比不均衡。与此同时,圈养繁育使大熊猫数量增长的同时也带来了近交和遗传多样性丧失的风险,提高了大熊猫的灭绝敏感性(王芳等,2007)。近些年,我国各地主要圈养大熊猫的基地及部门虽已加强圈养大熊猫种群间的遗传交流,但工作仍然不足(黄炎等,2001;Shan *et al.*,2014;耿国彪,2015),科研工作者已通过使用基因扫描和微卫星标记等技术对圈养大熊猫种群遗传多样性进行分析,进而纠正大熊猫谱系中的错误,科学选择大熊猫进行群体间交流(何蔚等,2007;王芳等,2007;单磊,2014)。值得注意的是,

Shan 等(2014)及单磊(2014)对陕西省(楼观台)濒危野生动物救护饲养中心(LGT)、CD、卧龙中国保护大熊猫研究中心(WL)以及北京动物园(BJ)等4家单位采集的240只圈养大熊猫的血液样品进行遗传评估,结果显示:大熊猫圈养种群遗传多样性较高、近交水平较低,且4个大熊猫圈养种群间存在显著的遗传分化与遗传结构,但同时也发现LGT种群面临着较高的近交风险,LGT、CD与WL、BJ间的基因交流较少。鉴于此,对圈养种群的遗传管理建议如下:(1)不需要进一步获取野生大熊猫的遗传物质来补充圈养种群,通过有效的种群遗传管理可将大熊猫圈养种群的遗传多样性维持在较高水平,并降低其近交水平;(2)将LGT作为一个独立圈养种群进行管理,以代表秦岭野生种群的遗传独特性,但种群管理者需特别关注并采取避免产生近交衰退效应,考虑到CD和WL种群相似的建群者来源,应加强它们之间的基因交流;(3)在进行圈养大熊猫放归活动时,应充分考虑放归个体的地理来源、遗传背景及其对放归地野生种群的遗传影响;(4)结合遗传数据及圈养大熊猫谱系信息可为大熊猫圈养种群制定更加科学的繁殖策略,以维持较高的遗传多样性并降低近交水平。

参考文献:

- 邓怀庆. 2013. 陕西佛坪大熊猫栖息地质量评价及保护管理研究[D]. 北京:北京林业大学:1-6.
- 耿国彪. 2015. 1864只我国野生大熊猫保护取得新成效——全国第四次大熊猫调查结果公布[J]. 绿色中国B版, (2): 10-12.
- 何蔚, 沈富军, 岳碧松. 2007. 大熊猫多态性微卫星标记筛选[J]. 四川动物, 26(3): 531-533.
- 胡杰, 李艳红, 胡锦矗, 等. 2003. 四川青川县大熊猫种群分析[J]. 四川动物, 22(1): 46-48.
- 胡锦矗. 1988. 大熊猫的繁殖生态学[J]. 南充师院学报(自然科学版), 9(2): 79-83.
- 黄炎, 张贵权, 邹兴淮. 2001. 圈养大熊猫种群的统计学分析[J]. 东北林业大学学报, 29(2): 109-112.
- 江延安. 1998. 甘肃黾鼠的生命表和种群动态分析[J]. 水土保持通报, 18(3): 20-23.
- 李德生, 张和民, 张贵权, 等. 2002. 卧龙大熊猫人工育幼技术的研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 8(2): 179-183.
- 刘娟, 陈玥, 郭丽然, 等. 2005. 圈养大熊猫刻板行为观察及其激素水平测定[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 41(1): 75-78.
- 单磊. 2014. 大熊猫圈养种群的保护遗传学研究[D]. 北京:中国科学院研究生院.
- 孙儒泳. 2001. 动物生态学原理[M]. 北京:北京师范大学出版社:146-161.
- 孙小雅, 张志和, 张文平, 等. 2010. 圈养大熊猫群体间的基因流状况分析[J]. 四川动物, 29(3): 333-339.
- 王芳, 彭真信, 张金国, 等. 2007. 应用微卫星标记分析圈养大熊猫遗传多样性[J]. 生物化学与生物物理进展, 34(12): 1279-1287.
- 王鹏彦, 张贵权, 魏荣平, 等. 2003. 提高圈养大熊猫仔兽存活率的研究[J]. 动物学杂志, 38(5): 58-63.
- 魏辅文, 胡锦矗, 许光瓚, 等. 1989. 野生大熊猫生命表初编[J]. 兽类学报, 9(2): 81-86.
- 徐庆刚. 2009. 大熊猫 Leptin、Ghrelin 和 IL-15 基因的克隆表达及胃和脾脏 cDNA 文库的构建[D]. 杭州:浙江大学.
- 许秀. 2012. 我国大熊猫的保护现状与展望[J]. 安徽农业科学, 40(14): 8075-8076, 8079.
- 杨波, 杨承忠, 涂飞云, 等. 2013. 大熊猫野化放归中的遗传学分析[J]. 四川动物, 32(1): 149-154.
- 杨春花, 王小明. 2006. 大熊猫的刻板行为及其矫正对策——丰富圈养环境举措[J]. 四川动物, 25(3): 529-532.
- 叶志勇. 1980. 大熊猫性行为的初步观察[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), (2): 13-17.
- 张含藻, 胡周强, 韦波, 等. 1992. 黄黑小豆象种群内禀增长率的初步研究[J]. 中药材, 15(10): 11-13.
- 张玲, 钟义, 朱思雨, 等. 2015. 中美大熊猫科普展览宣传效果对比与思考[J]. 林业资源管理, (3): 30-33.
- 章鸷鸷. 2010. 大熊猫卧龙圈养种群亲子鉴定及种群奠基者效应研究[D]. 杭州:浙江大学.
- 赵素芬, 张成林, 于泽英, 等. 2016. 圈养川金丝猴生命表及种群动态研究[J]. 四川动物, 35(5): 672-676.
- 周世强, 吴志荣, 严啸, 等. 2015. 自然与人为干扰对大熊猫主食竹种群生态影响的研究进展[J]. 竹子研究汇刊, 34(1): 1-9.
- 周晓, 胡海平, 李侗, 等. 2013a. 大熊猫的行为和保护研究[J]. 绿色科技, (2): 33-36.
- 周晓, 黄炎, 黄金燕, 等. 2013b. 大熊猫的行为发育及饲养管理中的影响因素[J]. 野生动物, 34(2): 106-110.
- Andrewartha HG, Birch LC. 1954. The distribution and abundance of animals [M]. Chicago: The University of Chicago Press: 31-54, 782.
- Veevey ES Jr. 1947. Life tables for natural populations of animals [J]. The Ouraterly Review of Biology, 22: 283-314.
- Liu DZ, Wang ZP, Tian H, et al. 2003. Behavior of giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) in captive conditions: gender differences and enclosure effects [J]. Zoo Biology, 22: 77-82.
- Nie YG, Swaisgood RR, Zhang ZJ, et al. 2012. Reproductive competition and fecal testosterone in wild male giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) [J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 66(5): 721-730.
- Saunier K, Doré J. 2002. Gastrointestinal tract and the elderly: functional foods, gut microflora and healthy ageing [J]. Digestive and Liver Disease, 34(2): S19-S24.
- Shan L, Hu YB, Zhu LF, et al. 2014. Large-scale genetic survey provides insights into the captive management and reintroduction of giant pandas [J]. Molecular Biology and Evolution, 31: 2663-2671.
- Shen FJ, Zhang ZH, He W, et al. 2009. Microsatellite variability reveals the necessity for genetic input from wild giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) into the captive population [J]. Molecular Ecology, 18(6): 1061-1070.
- Swaisgood RR, Zhou XP, Zhang GQ, et al. 2003. Application of behavioral knowledge to conservation in the giant panda [J]. International Journal of Comparative Psychology, 16(2): 65-84.