

海南坡鹿种群生活史特征及种群动态趋势预测

聂海燕^{1, 2} 宋延龄^{1*} 郑友风³ 曾治高¹ 张琼¹ 符大亮³

(1 中国科学院动物研究所, 北京 100101) (2 中南林业科技大学生命科学与技术学院, 长沙 410004)

(3 海南邦溪自然保护区, 白沙 572800)

摘要: 本文应用生命表和 Leslie 矩阵等生活史常规研究方法, 分析了生存于海南邦溪自然保护区的国家 I 级珍稀濒危哺乳动物海南坡鹿种群的年龄结构、特定年龄存活率、特定年龄繁殖率、初次产仔年龄、产仔季节、性比、寿命等重要生活史特征, 并预测其种群动态趋势。邦溪海南坡鹿种群平均寿命 4.6 岁, 雌性平均寿命略高于雄性, 分别为 4.7 岁, 4.4 岁; 雌性平均初次产仔年龄为 24 月龄; 雌性平均性成熟年龄为 16 月龄; 雌性最长繁殖寿命为 8.5 岁, 雄性最长繁殖寿命约为 4 岁; 成年雌性平均一年一胎, 胎仔数为 1; 新生幼仔数量雄性大于雌性, 性比为 1.33:1; 种群动态生命表的分析结果表明, 各年龄段雄性存活率高于雌性。幼体 (0~2 岁) 死亡数雌性高于雄性, 壮年成体 (3~8 岁) 死亡数雄性高于雌性, 老体 (9 岁~) 死亡数两性几乎相等。雌性幼体受到较强的自然选择作用, 体弱个体被淘汰; 壮年雄体为繁殖付出较高的代价, 死亡个体数量较高。Leslie 矩阵预测结果表明, 如果影响出生率和死亡率的因子不变, 种群数量将逐年增长, 周限增长率为 $\lambda \approx 1.011$; 种群内禀增长率 $r \approx 0.012$; 种群世代增长率 $R_0 \approx 1.06$; 世代长度 $T \approx 5.12$ 年。产仔时间为秋季与冬季, 春、夏季节不产仔, 此为适应海南岛独特的热带环境选择压力的结果。

关键词: 海南坡鹿; 生活史特征; 种群动态; Leslie 矩阵

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050 (2009) 01-0020-06

Life history patterns and population dynamics of Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*) in Bangxi Nature Reserve, Hainan

NIE Haiyan^{1, 2}, SONG Yanling^{1*}, ZHENG Youfeng³, ZENG Zhigao¹, ZHANG Qiong¹, FU Daliang³

(1 Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(2 College of Life Science and Technology, Central South Forestry University, Changsha 410004, China)

(3 Bangxi Nature Reserve of Hainan Province, Baisha 572800, China)

Abstract We describe life history patterns and analyze population dynamics of an enclosed population of Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*), an endemic, precious and endangered mammal which inhabited in Bangxi Nature Reserve of Hainan Province. Average life span among all animals was about 4.6 years (4.7 years for females, 4.4 for males). Sexual maturity among females began at an average age of females was 16 months. Mean age of females at first parturition was just over 2 years. All offspring were produced in autumn and winter, the rainy seasons of tropical Hainan Island when vegetation prospered and food was abundant and favorable for juveniles to survive. The longest reproductive span of females was 8.5 years, among males it was and the longest reproductive life span of males was about 4 years. A adult females produced an average of 1 fawn/yr (i.e., litter size=1). The sex ratio of neonates (male:female) was 1.33:1. The mortalities of males were different from those of females at different age stages. Female mortality was higher than that of males in yearlings (0-2 years); adult male mortality was higher than that of adult females (3-8 years), suggesting that males had paid higher reproductive cost than females. Annual mortality was highest at older ages (>9 years) and male mortality was almost equal to that of females at senior stage which showed that the seniors were the weakest and underwent strongest natural selection. A Leslie matrix suggested that at stable age distribution $\lambda \approx 1.011$, with a generation interval of 5.12 years.

Key words Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*); Life history feature; Leslie matrix; Population dynamics

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (20070410635); 国家自然科学基金重大项目 (30430120); 中南林业科技大学高层次人才引进项目

作者简介: 聂海燕 (1966-), 女, 教授, 主要从事动物生态与保护生物学研究。

收稿日期: 2007-07-19 修回日期: 2008-11-12

* 通讯作者, corresponding author. E-mail: songy@iz.ac.cn

探讨哺乳动物种群数量 (或种群大小, population size) 变动规律, 是哺乳动物种群生态学、濒危野生动物管理和保护生物学的核心任务之一。研究哺乳类生活史, 有利于分析、预测其种群动态 (Harris and Metzgar 1993)。然而, 由于兽类生活史错综复杂, 种群水平的保护生物学研究长期以来集中于个体和行为方面, 关于哺乳动物种群生活史的研究相对较少, 而有关其生活史特征与种群动态关系的研究则几乎为空白 (夏武平和胡锦矗, 1989; 魏辅文等, 1989; Purvis and Harvey 1995; 胡锦矗, 2000; Charnov, 2001; 聂海燕等, 2007)。

海南坡鹿 (*Cervus ecki hainanus*) 是泽鹿 (*Cervus ecki* M' Clelland 1842) 的四个亚种之一, 仅分布于我国的海南岛 (Decoux, 1993; Zeng et al., 2005), 是国家 I 级重点保护的珍稀、濒危野生动物 (汪松, 1998)。有关海南坡鹿形态、分类、生态、行为等的研究已有大量报道 (宋延龄和李善元, 1990, 1991, 1992, 1993, 1995; 袁喜才等, 1988, 1992; 李治深和周圻, 1995; 宋延龄, 1997; 曾治高等, 2001; Song and Zeng, 2003; Zhang et al., 2005), 然而, 关于其生活史特征以及种群动态预测的研究尚未见报道。

本研究旨在通过野外观察、记录和分析邦溪自然保护区海南坡鹿种群的重要生活史特征, 探讨该种群数量的增长规律, 并通过 Leslie 矩阵预测种群发展趋势, 为科学管理邦溪自然保护区坡鹿种群提供理论依据。

1 研究方法

本研究在海南省邦溪国家级自然保护区进行。保护区地处海南省白沙县西北, 北纬 $19^{\circ}24'$, 东经 $109^{\circ}13'$, 海拔 $100 \sim 170$ m, 总面积为 3.2 km^2 , 属热带低平丘陵区域, 地势略有起伏。为了防止人为干扰与盗猎现象发生, 整个保护区周边均设置有人工围栏。

自然保护区内植被比较丰富, 有维管束植物 101 科, 284 属, 374 种 (包括亚种、变种、变型), 其中, 坡鹿可以采食的有 200 种以上, 主要采食种类有 70~80 种 (袁喜才等, 1990)。植被总体上属于稀树草原类型, 主要由热带草地、稀树灌丛林、落叶季雨林、常绿季雨林等 4 个类型构成, 历史上是海南坡鹿的自然栖息地 (Zeng et al., 2005)。保护区内坡鹿种群以其自然栖息地

上生长的植物为食, 没有另外附加食物。因此, 邦溪自然保护区的坡鹿种群是在野外围栏、无捕食者的半自然环境下生长、发育和繁殖。

1.1 实验动物

海南坡鹿为分布于亚洲热带地区的鹿科动物, 是海南岛特有坡鹿亚种。1990~1993 年间, 从大田国家级自然保护区引入 18 只坡鹿亚成体 (10σ , 8δ), 作为邦溪自然保护区坡鹿种群的建立者 (袁喜才等, 1995)。

1.2 统计参数

1.2.1 种群密度统计

以总数量调查法 (孙儒泳, 2001) 测定种群密度。

1.2.2 繁殖参数的测定

在繁殖季节, 记录妊娠个体的初次产仔年龄、产仔时间、幼仔性别、胎仔数、雌性胎仔数、胎次年、新生幼仔体重等, 并依据以上数据估计年繁殖率。

1.2.3 构建种群动态生命表

依据惯例, 坡鹿个体年龄以岁为单位, 每公历年 1 月至 12 月为 1 年, 每经过 1 公历年年龄长 1 岁, 比如 1992 年 1 月至 12 月出生的坡鹿, 年龄为 0 岁, 1993 年 1 月至 12 月其年龄为 1 岁, 依此类推。

生命表参数均基于雌性数据。由于坡鹿初始种群数量很低, 单独依据每年统计的雌体数、产雌数, 不足以估计各年龄段存活率与繁殖率, 并且, 1990~2000 年, 邦溪保护区的植被、气候等环境条件相对恒定, 因此, 将这段时间各年龄段的数据分别合并, 建立种群动态生命表。生命表中各参数计算方法如下:

1) 特定年龄存活率 $s_x = n_{x+1}/n_x$, 其中, n_x 为 x 岁开始时的存活个体总数, 由直接计数获得;

2) 特定年龄死亡数 $d_x = n_{x+1} - n_x$;

3) 特定年龄死亡率 $q_x = 1 - s_x$;

4) 特定年龄繁殖率 $f_x^* = m_x \cdot s_x$, 其中, m_x 为 x 岁雌体所产雌性幼体数, 由直接计数获得, $x \geq 0$ 。由于邦溪保护区坡鹿初始种群仅 18 只, 1992~2001 的 10 年之中, 每年各年龄级雌性个体总数及所繁殖幼体总数均极低, 又由于这 10 年中保护区的植被状况、气候条件等外界条件均相当恒定, 因此, 将同年龄级观察数据逐年相加, 计算种群繁殖率 f_x ;

5) 特定年龄生命期望值 $e_x = \int_x l_x d_x / l_x$, 其

中, $l_x = n_x / n_0$.

1.2.4 Leslie矩阵预测种群发展趋势

以 2001年种群雌性年龄结构为初始向量 N_0 , 依据 Leslie (1945) 矩阵模型, 预测种群自 2002年起年龄结构及数量变化趋势:

$$N_{t+1} = M \cdot N_t = M^{(t+1)} \cdot N_0 \quad (I)$$

$$其中 M = \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \dots & f_{k-1} & f_k \\ s_0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & s_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & s_{k-1} & 0 \end{pmatrix} \quad (II)$$

N_t 为第 t 年种群中雌性个体数量。射影矩阵 (Population Projection Matrix) M 各参量与生命表中一致。第 t 年种群数量 $Q_t = (1 + \alpha) N_t$, 其中 α 为性比。

1.2.5 种群周限增长率 λ

种群周限增长率 $\lambda = N_{t+1} / N_t = e^r$.

2 结果

2.1 种群动态生命表

依据各年龄段繁殖率和存活率数据编制成坡鹿种群动态生命表 (表 1)。

2.2 种群动态

统计结果, 2001年种群雌性年龄结构, 即初始向量 $N_0 = (6 \ 7 \ 9 \ 6 \ 4 \ 4 \ 4 \ 1 \ 1 \ 2 \ 2)'$ 。将表 1 中各参数值代入射影矩阵 M 矩阵中, 得下式:

表 1 海南坡鹿种群动态生命表

Table 1 Dynamic life table of Hainan Ekl's deer (*Cervus eddihainanus*) population

年龄 (岁) Age (Year)	存活总数 Total alive		存活率 (S_x) Survival rate		特定年龄死亡数 (d_x) Age specific mortality		特定年龄死亡率 (q_x) Age specific mortality rate		特定年龄繁殖率 (m_x) [*] Age specific fecundity (m_x)	生命期望 (e_x) Life expectancy (e_x)
	雌 Female	雄 Male	雌 Female	雄 Male	雌 Female	雄 Male	雌 Female	雄 Male		
0	49	47	0.918	0.979	4	1	0.082	0.021	0	5.1
1	45	46	0.867	1	6	0	0.133	0	0	4.5
2	39	46	0.744	0.957	10	2	0.256	0.043	0.256	3.9
3	29	44	0.793	0.818	6	8	0.207	0.182	0.414	3.1
4	23	36	0.783	0.806	5	7	0.217	0.194	0.478	2.8
5	18	29	0.667	0.724	6	8	0.333	0.276	0.556	2.4
6	12	21	0.667	0.571	4	9	0.333	0.429	0.333	2.1
7	8	12	0.875	0.75	1	3	0.125	0.25	0.25	2.2
8	7	9	0.714	0.8	2	4	0.286	0.2	0.143	1.6
9	5	5	0.4	0.556	3	1	0.6	0.444	0.2	1.3
10	2	4	0.5	0.75	1	2	0.5	0.25	0.5	0.83
11	1	3	0	0	1	2	1	1	0	0

*: m_x 为每雌产雌率

*: m_x was fecundity ratio of female offspring

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.267 & 0.334 & 0.483 & 0.479 & 0.445 & 0.417 & 0.375 & 0.286 & 0.2 \\ 0.918 & & & & & & & & & & \\ & 0.867 & & & & & & & & & \\ & & 0.744 & & & & & & & & \\ & & & 0.793 & & & & & & & \\ & & & & 0.783 & & & & & & \\ & & & & & 0.667 & & & & & \\ & & & & & & 0.667 & & & & \\ & & & & & & & 0.875 & & & \\ & & & & & & & & 0.714 & & \\ & & & & & & & & & 0.4 & 0 \end{pmatrix}$$

上式中, 除矩阵第一行及次对角线外, 其余元素均为 0。将矩阵 M 与向量 N_0 代入 (I) 式, 计算得到 2002年以后逐年的种群数量, 绘制成种群动态预测曲线 (图 1), 即如果影响出生率与死亡

率的外界条件不变, 坡鹿种群将逐年增长, 其增长趋势如图 1。

通过矩阵计算可知, 种群周限增长率 $\lambda \approx 1.011$; 种群内禀增长率 $r \approx 0.012$ 种群世代增长

率 $R_0 \approx 1.06$ ，世代长度 $T \approx 5.12$ 年。

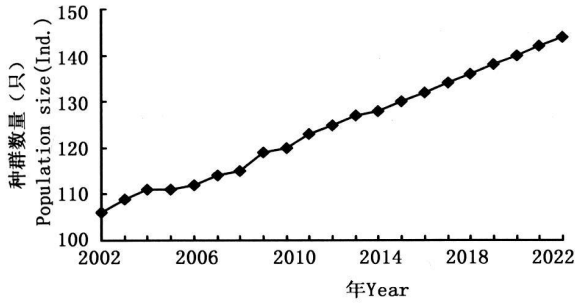


图 1 2002~2022年海南坡鹿种群动态趋势预测
 Fig 1 Population dynamics trend of Hainan Ekl's deer (*Cervus eldi hainanus*) predicted from 2002-2022

2.3 生活史特征

2.3.1 寿命、繁殖寿命与性成熟年龄

观察到的坡鹿最长寿命为雌性，17岁。平均寿命 4.6岁，雌性平均寿命略高于雄性，分别为雌性 4.7岁，雄性 4.4岁 (表 2)。

雌性坡鹿依据其初次参加繁殖的年龄推断性成熟年龄。雌鹿初次产仔的平均年龄约为 24月 (表 3)，减去其平均孕期 8个月 (Song and Zeng 2003)，因而雌鹿的性成熟年龄约为 16月。一年一胎，胎子数为 1。根据对邦溪自然保护区围栏种群 的观察结果，母鹿产仔至 10岁，因此其繁殖期长 8.5年，即最长繁殖寿命达 8.5岁。

表 2 雌性和雄性海南坡鹿平均寿命比较

Table 2 Average life span comparison between two sexes of Hainan Ekl's deer (*C. eldi hainanus*)

性别 Sex	寿命 (岁) Life span (Year)		样本数 Sample size	平均寿命 ±标准差 Average life span ±SD
	最大值 Max	最小值 Min		
雄 Male	12	0.1	16	4.4 ± 4.49
雌 Female	17	0.1	20	4.7 ± 4.34
雌+雄 Male+Female	17	0.1	36	4.6 ± 4.35

表 3 海南坡鹿雌体初次产仔年龄

Table 3 Age of female Hainan Ekl's Deer (*C. eldi hainanus*) at first parturition

初次产仔年龄 (月) Age at first parturition (Month)	最大值 Max	最小值 Min	样本数 Sample size	平均值 ±标准差 Mean ±SD
		36	15	27

尚未找到适当方法准确判断雄鹿的性成熟年龄。由于坡鹿种群存在等级繁殖制度，一般刚刚性成熟的雄鹿没有机会参加交配，因而难于依据其繁殖行为准确推断性成熟年龄。雄鹿需要 3岁以后才能获得繁殖的机会，7岁之后繁殖机会逐渐减少，因此，雄性的繁殖寿命约 4岁左右，仅为雌性的一半。

2.3.2 年龄结构与性比

坡鹿种群年龄结构基本呈金字塔型 (图 2)，因此，该种群为增长种群。雄性新生幼仔数量大于雌性，性比为 1.33:1 (表 4)。

2.3.3 产仔季节

1992~2002年共记录海南坡鹿产仔次数 109次，其中，秋季 (9~11月) 产仔 97次，占 89%，冬季 (12月至翌年 2月) 产仔 11次，占 10%，春季 (3~5月) 无产仔现象发生，夏季 (6~8月) 仅 8月底产仔一次 (图 3)。

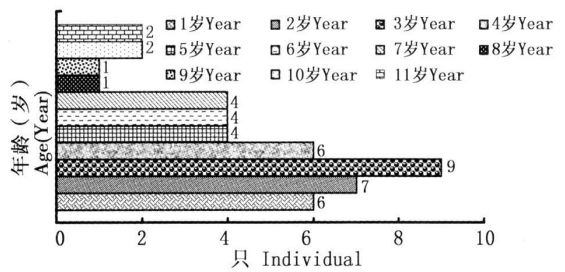


图 2 2001年海南坡鹿种群雌性年龄结构

Fig 2 Female age structure of Hainan Ekl's deer population in 2001

3 讨论

3.1 海南坡鹿存活率分析

坡鹿种群在野外围栏、无捕食者的半自然、较理想的环境下生长、发育和繁殖，除 6岁与 7岁两个年龄组以外，各年龄段雄性存活率高于雌性，然而，总体而言，两性别间存活率差别不明显。幼体

表 4 海南坡鹿种群新生幼体性比

Table 4 Neonates' sex ratio in Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*) population

新生幼体数 Number of neonates	雄体 Male	雌体 Female	性比 Sex ratio
5	4	1	4:1
8	5	3	5:3
5	1	4	1:4
3	2	1	2:1
7	5	2	5:2
7	3	4	3:4
10	6	4	3:2
13	7	6	7:6
18	11	7	11:7
20	9	11	9:11
21	12	9	4:3
18	12	6	2:1
$\Sigma = 135$	77	58	1.33:1

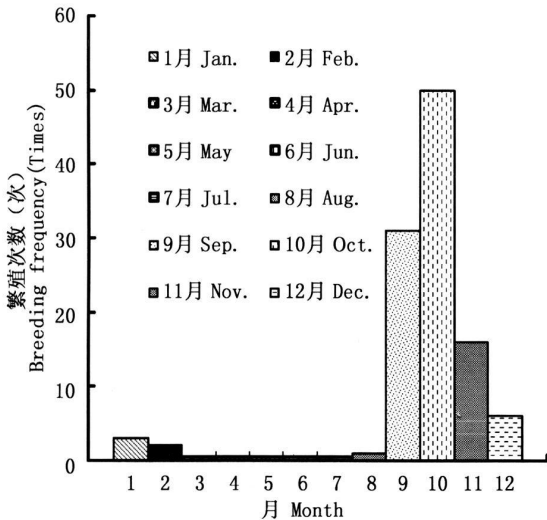


图 3 1992~2002年海南坡鹿各月产仔频次

Fig. 3 Breeding frequency of Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*) population from Jan. to Dec. during 1992-2002

(0~2岁)死亡数雌性高于雄性, 壮年成体(3~8岁)死亡数雄性高于雌性, 老体(9岁~)死亡数两性几乎相等(表1)。这反映了雌性幼体受到较强的自然选择作用, 体弱个体被淘汰; 壮年雄体较高的死亡个体数量反映了雄性坡鹿为繁殖付出的代价, 与繁殖期坡鹿行为的研究结果一致(曾治高等, 2001)。曾治高等(2001)发现, 繁殖期坡鹿的蹭角、泥浴、吼叫及争斗等耗能行为显著高于非繁殖期。邦溪自然保护区曾经发生过一次极端的事例, 在1997年的坡鹿繁殖期, 实验人员亲眼观察到围栏中3只繁殖期雄体共同攻击另一雄体而导致其死亡。

3.2 海南坡鹿繁殖季节选择的进化适应意义

Cutton-Brock等(1982)和Coulson等(2003)对马鹿(*Cervus elaphus*)、Price等(1988)对鸟类繁殖季节的研究结果均表明, 在定向选择的压力下, 产仔时间是可遗传的适应特征, 产仔时间显著影响幼仔第一年的存活率。邦溪海南坡鹿种群多数成年雌体(89%)产仔时间为秋季(9~11月), 少数个体(10%)冬季(12月至翌年2月)产仔, 春、夏两季(6~8月)不产仔(图3), 这是坡鹿长期适应海南岛独特的热带环境选择压力的结果。海南岛春末夏初为旱季, 食物缺乏, 不利于幼仔发育。而秋冬季节是雨季, 正是草木繁荣的时期, 食物充足, 母鹿身强体壮, 有利于哺育幼仔, 提高幼仔存活率。

3.3 种群动态趋势分析

邦溪保护区坡鹿种群为增长种群(图1, 2), 种群周限增长率最后稳定在 $\lambda \approx 1.011$ 。虽然邦溪保护区坡鹿1992年的初始种群仅18只, 然而, 2001年种群已经增长至105只。如果气候条件持续稳定, 且维持目前保护区内良好的植被状况不变, 未来10年内邦溪坡鹿种群将继续保持稳定的J型增长(图1), 即坡鹿这一国家一级保护濒危物种的邦溪亚种群数量将逐年恢复。

致谢: 美国Montana大学Richard Harris博士对本文提出宝贵意见, 本研究得到海南省邦溪自然保护区的大力协助, 在此一并致谢。

参考文献:

- Chamov E L. 2001. Evolution of mammal life histories. *Evolutionary Ecology Research*, **3**: 521-535.
- Cutton-Brock T H, Guinness F E, Albon S D. 1982. Red Deer: Behaviour and Ecology of Two Sexes. Chicago: University of Chicago Press.
- Coulson T L, Kruuk E B, Tavecchia G, Pemberton J M, Cutton-Brock T H. 2003. Estimating selection on neonatal traits in red deer using elasticity path analysis. *Evolution*, **57** (12): 2879-2892.
- Decoux Jean-Paul. 1993. Saving the Natural Diversity of Eld's Deer. *Global Herdbook*. Paris: Publication Professionnelle.
- Harris R B, Metzgar L H. 1993. On some common errors in analysis of age-structured populations. *Acta Theriologica Sinica*, **13** (3): 217-222.
- Hu J C. 2000. Review on the classification and population ecology of the giant panda. *Zoological Research*, **21** (1): 28-34. (in Chinese)
- Leslie P H. 1945. On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika*, **33**: 183-212.
- Li Z S, Zhou Q. 1995. The conservation and development of Hainan

- Eld's deer. *Natural Science Journal of Hainan University*, **13** (3): 221–225. (in Chinese)
- Nie H Y, Liu J K, Su J P, Zhang Y M, Zhang H H. 2007. Progress in the study of animal life history evolution. *Acta Ecologica Sinica*, **27** (9): 4267–4277. (in Chinese)
- Price T, Kirkpatrick M, Amoh S J. 1988. Directional selection and the evolution of breeding date in birds. *Science*, **240**: 798–799.
- Purvis A, Harvey P H. 1995. Mammal life-history evolution: a comparative test of Charnov's model. *Journal of Zoology* (London), **237**: 259–283.
- Song Y L. 1997. Comparison of direct and indirect observation methods in the food habit study of Hainan Eld's deer. *Acta Theriologica Sinica*, **17** (2): 151–154. (in Chinese)
- Song Y L, Li S Y. 1990. A study on the aggregate habit of Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*). *Acta Theriologica Sinica*, **10** (2): 104–109. (in Chinese)
- Song Y L, Li S Y. 1991. The selection for the bedding rest places by fawn of Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*). *Acta Theriologica Sinica*, **11** (3): 161–164. (in Chinese)
- Song Y L, Li S Y. 1992. On population dynamics of Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*) in Datian Nature Reserve, Hainan. *Acta Zoologica Sinica*, **38** (2): 165–171. (in Chinese)
- Song Y L, Li S Y. 1993. A preliminary analysis on relationship between population dynamics of Hainan Eld's deer and food resources in enclosure. *Acta Zoologica Sinica*, **13** (3): 161–165. (in Chinese)
- Song Y L, Li S Y. 1995. Estimating carrying capacity of Hainan Datian National Nature Reserve for Eld's deer. *Acta Zoologica Sinica*, **41** (3): 275–281. (in Chinese)
- Song Y L, Zeng Z G. 2003. Reproductive characteristics of female Eld's deer in their natural range in Hainan Island, China. *Mammalia*, **67** (1): 47–53.
- Sun R Y. 2001. Principles of Animal Ecology. Beijing: Beijing Normal University Press.
- Wei F W, Hu J C, Xu G Z, Jiang M D, Deng Q T, Zhong Z M. 1989. A study on the life table of wild giant pandas. *Acta Theriologica Sinica*, **9** (2): 81–86. (in Chinese)
- Xia W P, Hu J C. 1989. On the trend of population dynamics in giant panda based on age structure. *Acta Theriologica Sinica*, **9** (2): 87–93. (in Chinese)
- Yuan X C, Liu X M, Wang J, Fu G A, Li S Y. 1990. Feeding habits of Hainan Thanin deer. *Journal of Northeast Forestry University*, **18** (1): 66–71.
- Yuan X C, Chen W C, Li S Y. 1992. Study on the activity habit of brown antlered deer. *Journal of Northeast Forestry University*, **20** (2): 102–107. (in Chinese)
- Yuan X C, Lu C H, Feng M, Yun D X, Mo Y N, Fu D L, Liu D G. 1995. Domestication and offspring development of Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*). *Wildlife*, **6**: 32–35. (in Chinese)
- Zhang Q, Ji Y J, Zeng Z G, Song Y L, Zhang D X. 2005. Polymorphic microsatellite DNA markers for the vulnerable Hainan Eld's Deer (*Cervus eldi hainanus*) in China. *Acta Zoologica Sinica*, **51** (3): 530–534. (in Chinese)
- Zeng Z G, Song Y L, Li S Y, Zhang H, Long B, Wu Q. 2001. Roaring behavior of Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*) male during the rut and its significance in reproduction. *Acta Zoologica Sinica*, **47** (5): 481–487. (in Chinese)
- Zeng Z G, Song Y L, Li S Y, Teng L W, Zhang Q, Guo F. 2005. Distribution status and conservation of Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*) in China. *Folia Zoologica*, **54** (3): 249–257.
- 孙儒泳. 2001. 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社.
- 李治深, 周圻. 1995. 论海南坡鹿的保护及对策. 海南大学学报 (自然科学版), **13** (3): 221–225.
- 宋延龄. 1997. 两种食性研究方法在海南坡鹿食性研究中的比较. 兽类学报, **17** (2): 151–154.
- 宋延龄, 李善元. 1990. 海南坡鹿 (*Cervus eldi hainanus*) 集群习性的研究. 兽类学报, **10** (2): 104–109.
- 宋延龄, 李善元. 1991. 海南坡鹿 (*Cervus eldi hainanus*) 仔鹿对卧息地的选择. 兽类学报, **11** (3): 161–164.
- 宋延龄, 李善元. 1992. 海南大田自然保护区海南坡鹿种群动态研究. 动物学报, **38** (2): 165–171.
- 宋延龄, 李善元. 1993. 海南坡鹿围栏种群动态与食物资源关系的初步分析. 兽类学报, **13** (3): 161–165.
- 宋延龄, 李善元. 1995. 海南大田国家级自然保护区海南坡鹿容纳量的研究. 动物学报, **41** (3): 275–281.
- 汪松主编. 1998. 中国濒危动物红皮书. 北京: 科学出版社.
- 胡锦涛. 2000. 大熊猫的系统地位与种群生态学的研究与进展. 动物学研究, **21** (1): 28–34.
- 张琼, 吉亚杰, 曾志高, 宋延龄, 张德兴. 2005. 用于海南坡鹿遗传多样性研究的多态性微卫星 DNA 标记. 动物学报, **51** (3): 530–534.
- 聂海燕, 刘季科, 苏建平, 张堰铭, 张洪海. 2007. 动物生活史进化理论研究进展. 生态学报, **27** (9): 4267–4277.
- 夏武平, 胡锦涛. 1989. 由大熊猫的年龄结构看其种群发展趋势. 兽类学报, **9** (2): 87–93.
- 袁喜才, 卢柏威, 李善元. 1988. 海南坡鹿繁殖习性的研究. 兽类学报, **8** (2): 89–94.
- 袁喜才, 刘晓明, 王骏, 符国瑗, 李善元. 1990. 海南坡鹿食性的研究. 东北林业大学学报, **18** (1): 66–71.
- 袁喜才, 陈万成, 李善元. 1992. 海南坡鹿活动习性的研究. 东北林业大学学报, **20** (2): 102–107.
- 袁喜才, 卢成华, 冯敏, 云大兴, 莫燕妮, 符大亮, 刘德光. 1995. 坡鹿幼仔驯养与生长发育. 野生动物, **6**: 32–35.
- 曾治高, 宋延龄, 李善元, 张海, 龙斌, 吴强. 2001. 海南坡鹿雄鹿发情期的吼叫行为及其在繁殖中的意义. 动物学报, **47** (5): 481–487.
- 魏辅文, 胡锦涛, 许光瓚, 江明道, 邓启涛, 钟肇敏. 1989. 野生大熊猫生命表初编. 兽类学报, **9** (2): 81–86.