

江苏大丰麋鹿国家级自然保护区麋鹿死亡分析

任义军¹ 孙大明¹ 甄军爱² 王立波¹赵雨梦³ 沈华¹ 刘彬¹ 陈玉清^{2*}

(1 江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区管理处, 大丰 224136) (2 南京师范大学生命科学院, 南京 210024)

(3 南京大学生命科学院, 南京 210046)

关键词: 麋鹿; 野生动物; 死亡率; 种群管理; 疫病

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050(2022)06-0741-08

Analysis of the Père David's deer population mortality in Dafeng Milu National Nature Reserve

REN Yijun¹, SUN Daming¹, ZHEN Junai², WANG Libo¹, ZHAO Yumeng³, SHEN Hua¹, LIU Bin¹, CHEN Yuqing^{2*}

(1 Milu National Natural Reserve, Dafeng 224136, China)

(2 School of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210024, China)

(3 School of Life Sciences, Nanjing University, Nanjing 210046, China)

Abstract: From 2009 to 2020, we systematically investigated the population, mortality, and death factors of Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) in the Dafeng Milu National Nature Reserve, Jiangsu, China. The result showed the annual growth rate of the population was $13.09\% \pm 5.96\%$, which continuously increased in the 12 years. The annual mortality rate was $3.53\% \pm 2.27\%$, with an obvious fluctuation every 2 years. There was no significant difference in mortality of adults and sub-adults in different seasons, but significant in juveniles. Significant differences in mortality among different age groups were observed. The adults died most in summer and autumn, while the juveniles died most in winter and spring. 48.77% of subjects tend to choose the underbrush for dying. The death factors among different age groups were significantly different. The elders and the juveniles mainly died of epidemic diseases, including viral, bacterial, and parasitic. While the sub-adults died in accidents. We suggested that it is necessary to strengthen the daily monitoring and epidemic disease prevention in wildlife management. Our data provided important information for the protection of Père David's deer in Dafeng Reserve.

Key words: Père David's deer (*Elaphurus davidianus*); Wildlife; Mortality; Population management; Epidemic disease

麋鹿 (*Elaphurus davidianus*) 曾是中国特有的大型沼泽湿地型鹿科动物。由于人类活动、气候变化和历史变迁等因素, 麋鹿于 1900 年前后在中国本土灭绝, 少数圈养个体流落海外 (计宏祥, 1985; 曹克清和陈彬, 1990)。1986 年我国从英国引进 39 头麋鹿放养在苏北沿海滩涂, 建立了大丰麋鹿自然保护区, 1997 年晋升为江苏大丰麋鹿国家级自然保护区 (以下简称: 大丰麋鹿保护区)。截至 2020 年 5 月大丰麋鹿保护区麋鹿种群数量达

5 681 头, 成为世界上最大的麋鹿种群。但是, 大丰麋鹿种群保护工作目前面临许多问题, 如人类活动干扰过度、种群密度过高以及栖息地生境严重退化等, 增加了麋鹿非正常死亡的风险, 威胁种群的可持续发展 (蒋志刚等, 2001; 王立波等, 2020)。

野生鹿科动物个体死亡具有正负效应。一方面, 自然选择淘汰老弱个体, 优化种群结构, 促进种群良性发展; 另一方面, 被病原体感染的尸

基金项目: 江苏省林业科技创新与推广项目 (LYKJ [2019] 49, LYKJ [2019] 24)

作者简介: 任义军 (1972-), 男, 高级兽医师, 主要从事野生动物及其栖息地技术保护与研究. E-mail: ryijun2017@163.com

收稿日期: 2021-11-01; 接受日期: 2022-05-24

* 通讯作者, Corresponding author, E-mail: chenyuqing@njnu.edu.cn

体成为中间宿主, 导致恶性传染性疫病流行, 引起群体毁灭性死亡 (Zani *et al.*, 2020; Namiki and Hayakawa, 2020)。除自然死亡外, 国内外研究发现致野生鹿科动物死亡原因主要包括极端气候、疫病和意外等因素。(1) 极端气候: 季节变化引起生物和环境条件的更替, 极端天气条件下潜在限制因素例如食物短缺、严寒等可能造成野生鹿科动物大量死亡 (Santos *et al.*, 2020; Kautz *et al.*, 2020; Mizuki *et al.*, 2020)。(2) 疫病: 疫源疫病可能造成野生鹿科动物大批死亡。20世纪60年代, 近20多万头北美黑尾鹿 (*Odocoileus hemionus*) 和白尾鹿 (*Odocoileus virginianus*) 死于由朊病毒 (Prion virus) 引起的慢性消耗性疾病 (张伯强等, 2009); 海南野生坡鹿 (*Cervus eldii*) 在繁殖季节易死于破伤风 (*Tetanus*) 和坏死杆菌病 (*Fusobacterium necrophorum*) (林贤梅, 2008); 魏氏梭菌 (*Clostridium perfringens*) 毒素引起野生梅花鹿 (*Cervus nippon*) (李创新等, 2007)、水鹿 (*Rusa unicolor*) 和马鹿 (*Cervus canadensis*) (李达等, 2014) 等鹿科动物肠毒血症, 发生急性死亡, 等等。国内外研究也发现一些引起野生麋鹿大批死亡的病例: 1988年新西兰麋鹿发生恶性卡他热 (Malignant Catarrhal Fever), 死亡率高达54.16% (Orr and Mackintosh, 1988)。我国湖北石首麋鹿保护区诱发魏氏梭菌和致病性大肠杆菌 (*Escherichia coli*) 混合感染导致200余头麋鹿发病死亡, 死亡率约22.80% (张林源等, 2011); 北京南海子麋鹿群发生多起出血性肠炎和肺炎流行, 死亡率达10.20% (钟震宇等, 2018); 此外, 大丰麋鹿群中发现长角血蜱 (*Haemaphysalis longicornis*) (沈华等, 2007)、新型孢子虫 (*Phylum Apicomplexa*) (Xie *et al.*, 2019)、肝片吸虫 (*Fascioliasis hepatica*) (Huang *et al.*, 2020) 等寄生虫感染, 成为威胁麋鹿生命的潜在因子。(3) 意外因素: 在美国和欧洲等地, 交通事故是引起白尾鹿、驼鹿 (*Alces alces*) 等野生鹿科动物意外死亡的主要原因 (Steiner *et al.*, 2014, 2021); 此外, 人类设施、落水、缠网等亦威胁野生麋鹿在大丰的生存, 由这些因素导致的死亡率达24.00% (刘彬等, 2021)。

近年来, 大丰麋鹿保护区麋鹿种群繁衍情况良好, 但也出现了一定数量的麋鹿非正常死亡现象。那么, 野生麋鹿死亡与种群持续增长有

何关联? 自然死亡和非正常死亡的野生麋鹿在各种年龄段占比如何? 引起野生麋鹿死亡的主要因子有哪些? 这些因子对野生麋鹿死亡影响又是怎样? 为了回答这些科学问题, 我们收集了2009—2020年大丰麋鹿保护区的麋鹿种群动态数据, 甄别和评价各生态因子 (包括疫病、季节变化、年龄和生境等) 对大丰麋鹿生存的影响, 分析麋鹿死亡与季节、年龄、微生境和死亡原因的关系, 以探讨大丰野生麋鹿死亡规律, 并从保护生物学和生态学角度提出利于大丰麋鹿种群健康发展的保护管理建议。本文旨在对南黄海滩涂上大丰野生麋鹿的死亡进行初步分析, 进而制定科学的麋鹿长期保护方案和行动计划, 为推动我国野生鹿类动物的保护与研究提供工作提供依据。

1 研究方法

1.1 研究区位置与自然环境

大丰麋鹿保护区 (北纬32°59'~33°03', 东经120°47'~120°53') 位于江苏省盐城市东南部沿海, 总面积2666.7 hm²。该地区属于典型的黄海滩涂湿地生态系统, 有种子植物60科197属284种, 植被类型从海滨向内陆由盐沼植被、盐土植被、杂草—灌丛—疏木植被到撂荒地植被过渡。常年光、热和水充沛, 年平均日照2667.4 h, 年降水量1068 mm, 63%年降水集中在6—9月, 无霜期217 d, 常年平均气温14.1℃ (蒋志刚和丁玉华, 2011)。根据气候变化将各季节定义为: 冬季 (12月至次年2月)、春季 (3—5月)、夏季 (6—8月) 和秋季 (9—11月)。

1.2 麋鹿种群数量与死亡个体信息采集

2018年以前麋鹿集中在保护区范围内活动, 通过日常巡护完成统计。2018年以后麋鹿向周边扩散, 活动范围扩大。按照群体相对稳定、分界显著 (如河道、围网和路道等) 和便于统计的原则分成4个区域 (图1): I区在保护区以西、老海堤以南; II区在老海堤以北至保护区边界; III区在保护区以南区域; IV区为保护区范围内。每个区域3~4个技术人员负责监测和统计麋鹿数量。采取集中调查与日常巡护相结合, 每月集中调查3次 (5日、15日和25日), 时间段为07:00—17:00。因为每年5月麋鹿产仔期基本结束, 所以将截止5月份的产仔数计为当年度产仔数。

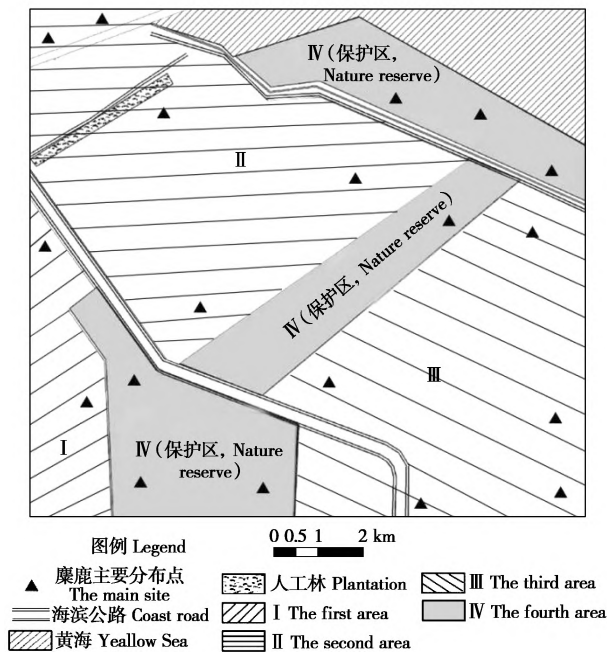


图1 大丰麋鹿保护区麋鹿种群区域分布

Fig. 1 The distribution of the Père David's deer in Dafeng Reserve

借助双筒望远镜 (Nikon prostaff 10 × 42)、单筒望远镜 (Bosma ED25-50 × 82)、相机 (Canon 5D 24-70mm) 和小型无人机 (Dji Mavic2) 等设备统计麋鹿数量, 并利用手机户外两步路软件记录调查信息。死亡麋鹿个体信息主要包括年龄、死亡地点、死亡时间和死亡原因等。

麋鹿个体年龄划分参照蒋志刚和丁玉华 (2011), 划分为幼体 (1岁内)、亚成体 (介于幼体与成体间)、成体 (4~5岁同时达到体成熟和性成熟) 和老龄 (12岁以上)。

麋鹿死亡地微生境类型分为草丛 (grasses)、沟塘 (ponds)、树林 (woods)、裸地 (bare lands) 和其他 (others) 5种类型。其中, 草丛是灌木或湿地常见禾本科植物的小片区域; 沟塘包括人工或天然形成的水渠、沼泽、河流和小湖泊; 树林主要是乔木林; 裸地为包括滩涂在内的无植被生长的裸露地面; 其他为不属于以上的生境类型, 如小土坡、农田和路道等。

采用野外观察与实验室检查相结合的方式对死亡原因确诊。兽医对死亡麋鹿尸体进行病理解剖, 并结合流行病学调查和实验分析, 将麋鹿死亡原因主要分为疫病因素 (epidemic disease)、自然

因素 (natural causes)、意外因素 (accidental factor) 和人为因素 (human factor) 4种。其中, 疫病因素指传染性疫病流行, 致大批麋鹿死亡; 自然因素指初生体质较差的仔鹿和老龄成体因生理器官衰竭死亡; 意外因素指因麋鹿个体之间发生打斗致严重受伤, 或野外误入沟渠或水塘长时间无法脱险溺水死亡, 或绳索渔网缠身无法及时解脱等原因导致死亡; 人为因素主要指交通事故等人为原因致麋鹿死亡。在野外调查过程中, 野生麋鹿死亡原因初步判定: 疫病因素表现为死亡数量相对较多, 持续一段时间, 并相对集中在某个区域范围; 自然因素表现为分布零散, 并具有显著的年龄特征; 意外因素和人为因素依据现场调查和分析, 易于区别确定。

1.3 数据处理与统计分析

计算每年麋鹿种群的各种指标: 年增长率 = 本年增长数 / 上一年种群数量 × 100%, 年死亡率 = 本年死亡数 / 本年种群数量 × 100%, 季节死亡率 = 季节死亡总数 / 年种群数量 × 100%, 年龄组死亡率 = 本年龄组死亡数 / 本年种群数量 × 100%。各指标值 = 各指标值总和 / 年数。数据为平均值 ± 标准误。

数据用 SPSS 17.0 软件进行统计分析。对麋鹿种群数量与死亡数、增长率和死亡率的关系采用 Spearman 相关分析。经检验季节和年龄组死亡率数据均为非正态分布, 采用 Kruskal-Wallis 检验不同季节和不同年龄组死亡率总体差异; 若总体差异显著, 则采用 Mann-Whitney 检验分别完成不同季节间、不同年龄组间的两两比较。以麋鹿死亡数量为指标, 用卡方 χ^2 检验不同年龄组间麋鹿死亡地点 (微生境) 和死亡原因的差异显著性。以季节和年龄为固定因素 (fixed factors), 各种死亡原因为因变量 (dependent variable) 采用 ANOVA test 进行多因素方差分析。P < 0.05 为显著差异。

2 结果

2.1 麋鹿种群增长与死亡率

2009—2020年共统计仔鹿数6253头, 每年产仔数分别为: 238头、264头、183头、366头、403头、420头、493头、682头、786头、628头、945头和845头, 总体呈逐年上升趋势, 2011年、

2018年和2020年出现下降波动。种群年均增长率为 $13.09\% \pm 5.96\%$ ($n = 12$), 其中2012年增长率最低(5.59%), 2017年增长率最高(27.24%) (图2)。12年间, 共统计麋鹿死亡个体数1187头, 2016年死亡最多(203头) (图3); 年均死亡率为 $3.53\% \pm 2.27\%$ ($n = 12$), 2010年死亡率达到高峰(8.22%) (图2)。分析发现, 麋鹿死亡绝对数量呈现波动变化, 平均周期约为2年, 但死亡数波动变化与数量增长不相关 ($r = 0.381, P = 0.381$), 死亡率与增长率不相关 ($r = 0.300, P = 0.344$)。

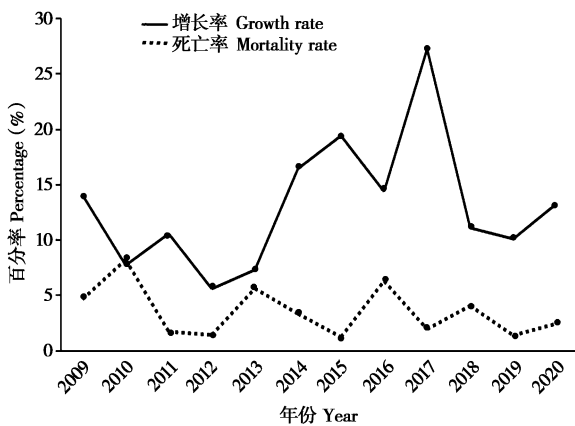


图2 大丰麋鹿保护区麋鹿种群增长率与死亡率的变化(2009—2020)
Fig. 2 Changes of the growth rate and the mortality rate of Père David's deer in Dafeng Reserve from 2009 to 2020

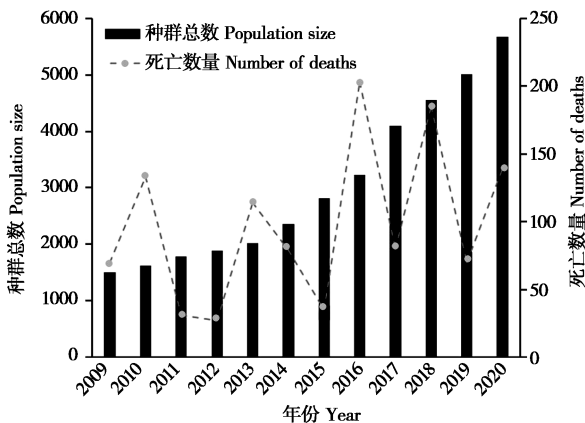


图3 大丰麋鹿保护区麋鹿种群数量与死亡数的变化(2009—2020)
Fig. 3 Changes of the population size and the number of deaths of Père David's deer in Dafeng Reserve from 2009 to 2020

2.2 麋鹿死亡的季节分布与年龄结构

不同年龄组间麋鹿平均死亡率: 幼体 > 成体 > 亚成体, 不同季节间死亡率: 冬季 > 春季 > 夏季 > 秋季 (图4A)。同一年龄组死亡麋鹿的季节性分布 (图

4B): 成体 ($\chi^2 = 1.900, df = 33, P = 0.593$) 和亚成体 ($\chi^2 = 0.248, df = 33, P = 0.969$) 无显著差异; 幼体差异极显著 ($\chi^2 = 15.040, df = 33, P = 0.002$), 冬季与春季的死亡率都极显著高于夏季与秋季 ($Z_{冬-夏} = -3.317, P = 0.001$; $Z_{冬-秋} = -3.498, P < 0.001$; $Z_{春-夏} = -2.806, P = 0.005$; $Z_{春-秋} = -3.116, P = 0.002$), 春、冬季间 ($Z_{冬-春} = -0.433, P = 0.664$) 和夏、秋季间均无显著差异 ($Z_{夏-秋} = -0.943, P = 0.345$)。

不同年龄组麋鹿在不同季节的死亡率存在极显著差异 (图4C): 冬季 ($\chi^2 = 16.57, df = 22, P < 0.001$), 春季 ($\chi^2 = 12.43, df = 22, P = 0.002$), 夏季 ($\chi^2 = 14.05, df = 22, P < 0.001$), 秋季 ($\chi^2 = 20.37, df = 22, P < 0.001$)。春季成体与幼体间的死亡率无显著差异 ($Z = -1.849, P = 0.083$); 夏季成体和亚成体间 ($Z = -0.329, P = 0.741$)、秋季亚成体和幼体间 ($Z = -1.378, P = 0.168$) 的死亡率差异亦不显著。夏季成体 ($Z_{成-亚} = -3.595, P < 0.001$; $Z_{成-幼} = -2.755, P = 0.006$) 和秋季成体 ($Z_{成-亚} = -3.753, P < 0.001$; $Z_{成-幼} = -2.705, P = 0.007$) 的死亡率显著高于幼体和亚成体; 冬季幼体 ($Z_{亚-幼} = -3.403, P < 0.001$) 和春季幼体 ($Z_{亚-幼} = -3.097, P = 0.002$) 的死亡率最高, 且显著高于亚成体。

2.3 麋鹿死亡的微生境

大丰麋鹿保护区内微生境大致比例依次为草丛 (37.50%)、树林 (33.26%)、沟塘 (19.44%)、其他 (11.41%)、裸地 (5.56%)。麋鹿死亡个体分布微生境及年龄组微生境分布见图5。麋鹿死亡的微生境分布比例依次为草丛 (48.77%)、沟塘 (15.67%)、裸地 (12.13%)、树林 (11.29%)、其他 (10.78%)。年龄分布: 成体依次为草丛 (33.14%)、沟塘 (21.64%)、裸地 (16.86%)、其他 (13.79%)、树林 (11.49%); 亚成体依次为草丛 (29.55%)、其他 (27.27%)、树林 (18.18%)、沟塘 (13.64%)、裸地 (11.36%); 幼体依次为草丛 (65.86%)、沟塘 (10.57%)、树林 (10.05%)、裸地 (7.97%)、其他 (5.54%)。微生境类型分布上幼体与成体间 ($\chi^2 = 89.45, df = 4, P < 0.001$) 以及幼体与亚成体间 ($\chi^2 = 57.23, df = 4, P < 0.001$) 差异极显著, 幼体出现在草丛的比例高于成体和亚成体约2~3倍。成体与亚成体微生境分布差异显著 ($\chi^2 = 4.314, df = 4, P = 0.038$), 成体死于沟塘的比例仅次于草丛, 而亚成

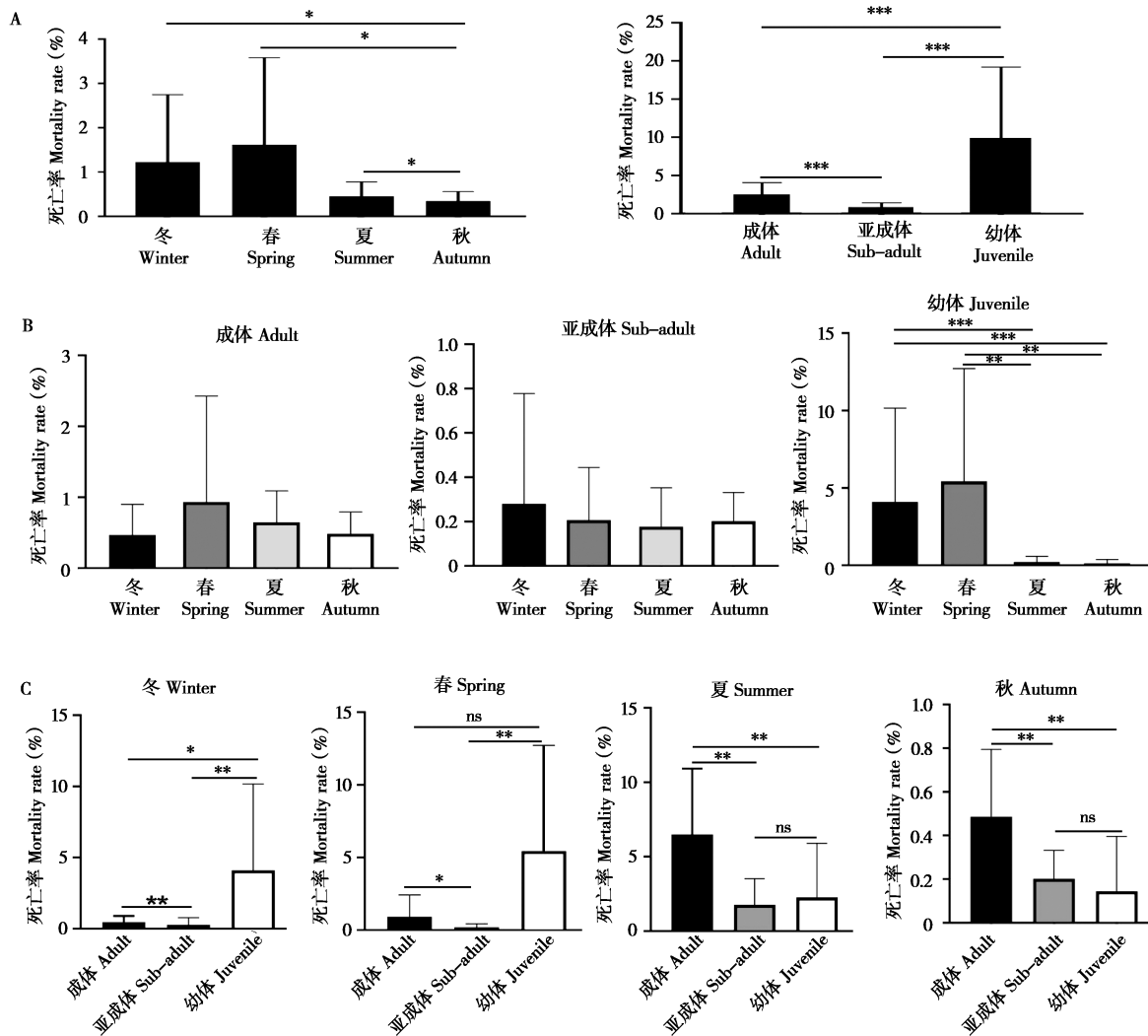


图4 大丰麋鹿保护区不同年龄和季节麋鹿的死亡率。A：季节和年龄组的死亡率总体分布；B：各个年龄组的季节死亡率分布；C：各个季节的年龄组死亡率分布

Fig. 4 Seasonal and age distribution of mortality rate of Père David's deer in Dafeng Reserve. A: Overall distribution of mortality in season and age group; B: Seasonal mortality distribution by age group; C: Mortality Distribution of age group by season. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, ns $P > 0.05$

体死于其他的比例接近于草丛。

2.4 麋鹿死亡原因分析

对麋鹿个体死亡原因进行分析，并按照整体和年龄结构综合分类统计(图6)。总体各因素死亡分布：疫病因素45.66%，自然因素32.09%，意外因素12.72%，人为因素9.52%。不同年龄组麋鹿死亡原因中，成体主要死于疫病因素(38.51%)和自然因素(31.80%)；亚成体主要死于意外因素(34.09%)；多数幼体死于疫病因素(54.59%)。4种死亡原因分析结果显示：成体与亚成体($\chi^2 = 40.13$,

$df = 3$, $P < 0.001$)、成体与幼体($\chi^2 = 108.0$, $df = 3$, $P < 0.001$)及亚成体与幼体($\chi^2 = 178.1$, $df = 3$, $P < 0.001$)差异极显著。疫病因素是麋鹿死亡的最大原因，意外因素死亡比例最低(图6)。

多因素分析结果显示，季节和年龄的交互作用对疫病死亡无显著影响，季节、年龄分别对疫病死亡无显著影响(表1)。然而，季节和年龄的交互作用对自然死亡和意外死亡均有显著影响，且年龄对自然死亡和意外死亡均有显著影响，但是季节对自然死亡、疫病死亡和意外死亡均无显著影响(表1)。

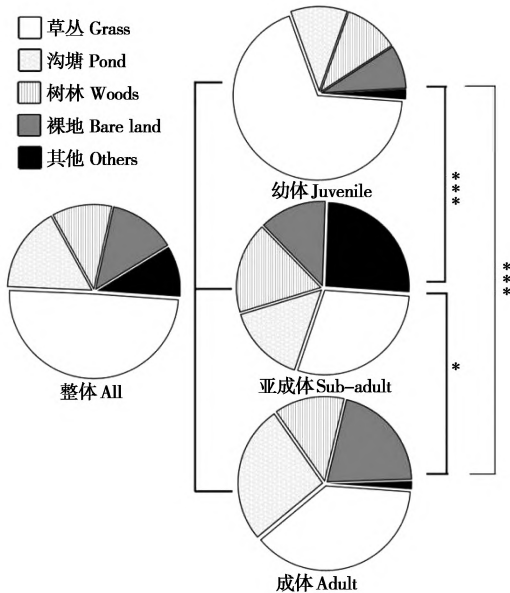


图5 大丰麋鹿保护区麋鹿死亡个体的微生境分布
Fig. 5 Distribution of different type of habitats for death individuals in Dafeng Reserve. * $P < 0.05$, *** $P < 0.001$

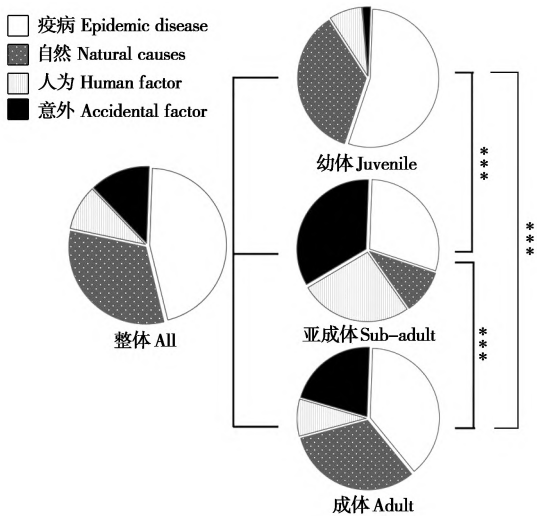


图6 大丰麋鹿保护区麋鹿死亡原因的比较
Fig. 6 Comparison of the death causes of Père David's deer in Dafeng Reserve. *** $P < 0.001$

3 讨论

麋鹿引入大丰后很快适应了当地的自然条件，野生麋鹿在繁殖季节表现出比圈养状态更强的适应性(于长青, 1996)，但现有麋鹿种群数量远超栖息地环境容纳量(梁崇岐和李渤生, 1991)。在相对较大的资源竞争压力和近年来环境条件变化的情况下，大丰麋鹿种群出现一定的波动性死亡。

表1 季节和年龄对麋鹿死亡原因的影响分析

Table 1 The effect of season and age on the causes of death of Père David's deer (* $P < 0.05$)

因变量 Dependent variable	固定因素 Fixed factors	df	F	P
疫病因素 Epidemic disease	季节 Season	3	2.279	0.180
	年龄 Age	2	1.058	0.404
	季节 + 年龄 Season and age	5	2.399	0.156
自然因素 Natural causes	季节 Season	3	1.433	0.323
	年龄 Age	2	5.411	0.045*
	季节 + 年龄 Season and age	5	5.698	0.026*
意外因素 Accidental factor	季节 Season	3	2.125	0.198
	年龄 Age	2	5.184	0.049*
	季节 + 年龄 Season and age	5	5.214	0.032*

本研究发现麋鹿的死亡数与种群数量无显著相关性，呈约2年的周期性波动，提示大丰麋鹿种群存在一定的自我调节能力。2009—2020年大丰麋鹿种群增长率远远大于死亡率，使得麋鹿种群数量持续大幅度净增加。今后应重点探讨人为科学干预和合理淘汰的方法，优化麋鹿种群结构和质量，维持麋鹿种群优质基因良性传承。

本研究揭示了麋鹿死亡率与年龄及其季节的关系。研究显示幼体和成体死亡绝对数量较多，亚成体最少；不同年龄麋鹿在同一季节的死亡率差异显著。幼体死亡率冬、春季显著高于夏、秋季。保护区受海洋性和季风性气候影响，冬、春季偏冷，野外植物资源相对匮乏(蒋志刚和丁玉华, 2011)。有研究表明，部分幼体在冬季主要啃食枯萎植物茎叶及根茎(任义军等, 2013)，致使幼体因营养不良而死亡；或在初春大量采食青绿植物导致典型反刍兽类“胀青”而死亡(李和平和王春生, 2011；任义军等, 2020)；部分幼体随母鹿到投喂点获取食物，则死亡率较低(任义军等, 2013)。亚成体处于生长发育期，能够耐受四季自然变化，死亡率较低。本研究发现，在夏、秋季成体死亡率显著高于幼体和亚成体。夏、秋季是麋鹿发情产仔季节，约80%成体雄性受性需求驱使，进食量明显减少，机体抵抗力下降，易发生疾病；另外，雄性成体之间因发情打斗，发生意外误伤死亡。雌性成体麋鹿的妊娠期长达9个月(丁玉华等, 2006；任义军等, 2020)，增加了意外因素(如难产死亡、误入沟塘等)和人为因素(交通

事故) 所致的死亡风险。因此, 针对不同季节和不同个体应采取相应保护措施。冬、春季增加对幼体活动区域的投食量, 满足幼体营养需求; 夏、秋季加强成体生育期的保护, 对麋鹿活动区域内交通道路进行限流限速, 减少人为干扰。

本研究发现草丛是麋鹿死亡个体出现最多的微生境, 这可能与保护区及其周边草丛面积比例多有关, 也可能与草丛的食源性、隐蔽性和舒适性有关。一方面滩涂丰富的植被为麋鹿提供了充足的食物资源; 另一方面生境内存在大量高茎植被, 如芦苇 (*Phragmites australis*)、互花米草 (*Spartina alterniflora*)、白茅 (*Imperata cylindrica*) 等, 麋鹿将其压倒作为铺垫, 卧于其中, 隐蔽且舒适保暖性强。除幼体外, 在沟塘中发现死亡麋鹿的比例仅次于草丛, 这与麋鹿濒死前对水源的需求相关。另外老龄麋鹿 (统计中发现至少 40 头) 饮水或过沟时, 因体弱无力无法从沟塘全身而出, 导致意外死亡。野外救护发现, 许多野生麋鹿误入陡坡的深水沟塘溺水死亡 (刘彬等, 2021)。麋鹿濒死期选择树林, 倾向于树林生境的隐蔽性。少数麋鹿出现在裸地生境, 可能与其突发急病猝死有关。本研究认为, 麋鹿濒死期对微生境的选择可能是为了避免外界的干扰。这提示保护区需要加大草丛和沟塘的日常巡护力度, 及时发现和抢救遇险麋鹿, 并对陡坡进行处理, 提供麋鹿能够自由出入的通道, 减少意外情况引起麋鹿的死亡。

保护区地处黄海滩涂, 没有大型食肉猛兽。在没有捕食压力情况下, 疫病因素是麋鹿死亡的最大原因, 自然因素、人为因素和意外因素等也发挥重要作用, 半数以上的麋鹿幼体死于疫病, 成体次之, 亚成体最少。分析还发现疫病因素所致死亡在季节间和年龄组间均无显著差异。季节、年龄的交互作用对疫病死亡无显著影响, 即任何季节都有可能发生疫病, 这对遗传多样性较低的麋鹿威胁很大。王立波等 (2020) 汇总了 1979—2018 年公开报道的麋鹿疾病研究文献, 分析发现细菌感染导致麋鹿发病次数最多且病死率最高, 显著区别病毒性疫病死亡。发病的野生麋鹿个体混夹于大群中, 难于甄别隔离, 易传染给其他健康个体。染病野生动物尸体是细菌病毒的重要宿主, 受感染死亡的野生动物尸体如被其他野生动物吃掉, 会将病原传播给其他动物, 甚至人类 (Namiki and Hayaka-

wa, 2020)。因此, 及时发现麋鹿尸体, 开展病理学和流行病学研究尤为重要; 同时保护区应严格按照兽医卫生要求处理尸体和周边环境, 切断疫病传播途径, 避免群体性疫病的流行和爆发。

统计发现麋鹿自然死亡约占总死亡的 32.09%, 随着麋鹿种群数量的攀升, 自然淘汰麋鹿的绝对数量也随之增加。本研究发现亚成体的自然死亡比例不高, 但成体和幼体很高。分析认为, 亚成体适逢青春期, 生命力较强, 而幼体生存能力相对较弱, 以及部分成体年老体弱最终衰竭归于自然淘汰。本研究显示, 季节和年龄的交互作用显著影响自然死亡, 冬、春季幼体的死亡率显著高于成体和亚成体。因此, 没有捕食者的麋鹿, 冬春气候异常变化成为老弱幼体自然死亡的重要诱发因素。

鹿、车相撞是世界多地鹿科动物人为因素死亡的主要原因 (Steiner *et al.*, 2014, 2021)。大丰麋鹿保护区野生麋鹿成体和亚成体的活动力强, 活动范围广, 特别是夜间出没于人类活动频繁的道路, 易发生交通事故。亚成体相对幼体和成体死亡率较低, 研究结果显示多为意外死亡。成体意外死亡占比虽然较少, 但意外因素种类较多。

综上所述, 大丰麋鹿种群数量增长率远高于死亡率, 需要结合大丰麋鹿保护区现状对种群结构进行科学调控。本研究也揭示出不同年龄、季节、微生境的麋鹿死亡率变化规律, 为保护区有针对性地开展日常重点巡视与保护提供了参考。麋鹿死亡原因分析显示: (1) 疫病是当前大丰麋鹿 (尤其是幼体和成体) 死亡的主要原因; (2) 幼体和成体是大丰麋鹿自然死亡的主要群体; (3) 亚成体的最大死因是意外因素。在麋鹿种群技术管理过程中, 加强不同年龄麋鹿的日常监测与疫源疫病防控, 及时清除麋鹿尸体和环境污染, 加大疫病基础研究, 对于麋鹿种群的健康可持续发展具有重要意义。

参考文献:

- Cao K Q, Chen B. 1990. Re-discussion on the cause of extinction of wild Père David's deer. *Sichuan Journal of Zoology*, **9** (1): 41-42. (in Chinese)
- Ding Y H, Zhu M, Ren Y J. 2006. Expansion of captive and establishment of wild Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) populations on the coast of northern of Jiangsu Province, China. *Acta Theriologica Sinica*, **26** (3): 249-254. (in Chinese)
- Huang S Y, Gong J Z, Ren Y J, Pan M, Cai W M, Fan Y M, Yao N.

2020. First report on the prevalence of *Fasciola hepatica* in the endangered Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) in China. *BMC Veterinary Research*, **16** (1): 473–474.
- Ji H X. 1985. Geographical history of genus *Elaphurus*. *Vertebrata Palasiatica*, **23** (3): 214–222. (in Chinese)
- Jiang Z G, Zhang L Y, Yang R S, Xia J S, Rao C G, Ding Y H, Shen H, Xu A H, Yu C Q. 2001. Density dependent growth and population management strategy for Père David's deer in China. *Acta Zoologica Sinica*, **47** (1): 54–59. (in Chinese)
- Jiang Z G, Ding Y H. 2011. *Père David's Deer and Biodiversity*. Beijing: China Forestry Press, 107–119. (in Chinese)
- Kautz T M, Belant J L, Jr D E B, Strickland B K, Duquette J F. 2020. Influence of body mass and environmental conditions on winter mortality risk of a northern ungulate: evidence for a late-winter survival bottleneck. *Ecology and Evolution*, **10** (3): 1666–1677.
- Liang C Q, Li B S. 1991. The habitat vegetation of semi-free Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) and their eating plant species in China. *Scientia Silvae Sinicae*, **27** (4): 425–434. (in Chinese)
- Li C X, Wang W H, Bai Z J. 2007. Enterotoxemia in ruminants. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, **43** (5): 1–2. (in Chinese)
- Li H P, Wang C S. 2011. *Ecological Deer Raising*. Beijing: China Agriculture Press, 336–337. (in Chinese)
- Liu B, An Y T, Xue D D, Sun D M, Wang L B, Liu D Y, Ren Y J, Shen H. 2021. Impact of human activities on the survival of wild Milu and protection countermeasures. *Sichuan Journal of Zoology*, **2**: 176–182. (in Chinese)
- Orr M B, Mackintosh C G. 1988. An outbreak of malignant catarrhal fever in Père David's deer (*Elaphurus davidianus*). *New Zealand Veterinary Journal*, **36** (1): 19–21.
- Namiki T, Hayakawa S. 2020. Possible importance of carcasses for ebolavirus persistence in the ecosystem. *Medical Hypotheses*, **138**: 109595.
- Mizuki I, Itô H, Yamasaki M, Fukumoto S, Okamoto Y, Katsuki M, Fukushima K, Sakai M, Sakaguchi S, Fujiki D, Nakagawa H, Shihara M I, Takayanagi A. 2020. Seasonal and annual fluctuations of deer populations estimated by a Bayesian state-space model. *PLoS ONE*, **15** (6): e0225872.
- Ren Y J, Sun D M, Ding Y H, Liu B. 2013. The behaviors of young Père David's deer under the pressure of less food. *Journal of Wildlife*, **34** (1): 4–6. (in Chinese)
- Ren Y J, Sun D M, Yu X P, Liu B. 2020. Relationship between growth and disease of Père David's deer in breast-feeding period. *Jiangsu Agricultural Sciences*, **48** (11): 153–157. (in Chinese)
- Santos D J F D, Berger V, Cristofari R, Htut W, Nyein U K, Aung H H, Reichert S, Lummaa V. 2020. Seasonal variation of health in Asian elephants. *Conservation Physiology*, **8** (1). DOI: 10.1093/conphys/coaa119.
- Steiner W, Leisch F, Hackländer K. 2014. A review on the temporal pattern of deer-vehicle accidents: impact of seasonal, diurnal and lunar effects in cervids. *Accident Analysis & Prevention*, **66**: 168–181.
- Steiner W, Schöll E M, Leisch F, Hackländer K. 2021. Temporal patterns of roe deer traffic accidents: effects of season, daytime and lunar phase. *PLoS ONE*, **16** (3): e0249082.
- Xie F J, Zhang Z J, Zhao A Y, Jing B, Qi M, Wang R J. 2019. Molecular characterization of *Cryptosporidium* and *Enterocytozoon bieneusi* in Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) from Shishou, China. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, **10**: 184–187.
- Yu C Q. 1996. Status of genetic diversity and conservation strategy of Père David's deer in China. *Biodiversity Science*, **4** (3): 130–134. (in Chinese)
- Zani L, Masiulis M, Busiulis P, Dietze K, Pridotkas G, Globig A, Blome S, Mettenleiter T, Depner K, Karvelint B. 2020. African swine fever virus survival in buried wild boar carcasses. *Transboundary and Emerging Disease*, **67** (5): 2086–2092.
- Zhang Z J, Huang J Y, Karim M R, Zhao J F, Dong H J, Ai W C, Li F H, Zhang L X, Wang R J. 2015. Zoonotic *Enterocytozoon bieneusi* genotypes in Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) in Henan, China. *Experimental Parasitology*, **155**: 46–48.
- Zhong Z Y, Bai J D, Li J F, Shan Y F, Liu T. 2018. Diagnosis of secondary septicemia induced by massive hemorrhage of semi-free Père David's deer. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, **7** (14): 195–196. (in Chinese)
- 丁玉华, 朱梅, 任义军. 2006. 苏北滨海湿地麋鹿恢复种群的研究. 兽类学报, **26** (3): 249–254.
- 于长青. 1996. 中国麋鹿遗传多样性现状与保护对策. 生物多样性, **4** (3): 130–134.
- 王立波, 解生彬, 姜慧, 徐亦忻, 原宝东, 费荣梅. 2020. 中国麋鹿疾病的病例分析. 畜牧与兽医, **52** (4): 135–138.
- 计宏祥. 1985. 四不象鹿属地理分布的变迁. 古脊椎动物学报, **23** (3): 214–222.
- 任义军, 孙大明, 丁玉华, 刘彬. 2013. 乏食压力下幼龄麋鹿的行为. 野生动物, **34** (1): 4–6.
- 任义军, 孙大明, 俞晓鹏, 刘彬. 2020. 哺乳期麋鹿的生长发育与疾病发生的关系. 江苏农业科学, **48** (11): 153–157.
- 刘彬, 安玉亭, 薛丹丹, 孙大明, 王立波, 刘德元, 任义军, 沈华. 2021. 人类活动对野化麋鹿生存的影响及保护对策. 四川动物, **2**: 176–182.
- 李达, 袁方, 汤德元, 李春燕, 曾智勇, 郝飞. 2014. 贵州省扎佐某野生动物园梅花鹿肠毒血症的诊治. 畜牧与兽医, **46** (7): 143–144.
- 李创新, 王万华, 白志军. 2007. 野生动物反刍兽肠毒血症及其防治. 中国兽医杂志, **43** (5): 32.
- 李和平, 王春生. 2011. 生态养鹿. 北京: 中国农业出版社, 336–340.
- 沈华, 丁玉华, 徐安宏. 2007. 半散放麋鹿长角血痹病的诊治. 中国动物传染病学报, **15** (4): 60–61.
- 张伯强, 张体银, 姚光国. 2009. 鹿慢性消耗性疾病研究进展. 中国动物检疫, (8): 4.
- 张林源, 温华军, 钟震宇, 李鹏飞, 王文, 李坤. 2011. 湖北石首野生麋鹿种群大量死亡原因调查. 畜牧与兽医, **43** (4): 89–91.
- 林贤梅. 2008. 海南坡鹿疾病发生的一般规律与防治对策. 野生动物, **29** (4): 3.
- 钟震宇, 白加德, 李俊芳, 李俊芳, 单云芳, 刘田. 2018. 半散放麋鹿大出血继发败血症的诊断. 黑龙江畜牧兽医, **7** (14): 195–196.
- 曹克清, 陈彬. 1990. 关于野生麋鹿绝灭原因的再探讨. 四川动物, **9** (1): 41–42.
- 梁崇岐, 李渤生. 1991. 我国半散放麋鹿生境植被及采食植物种类的研究. 林业科学, **27** (4): 425–434.
- 蒋志刚, 丁玉华. 2011. 大丰麋鹿与生物多样性. 北京: 中国林业出版社, 107–119.
- 蒋志刚, 张林源, 杨戎生, 夏经世, 饶成刚, 丁玉华, 沈华, 徐安红, 于长青. 2001. 中国麋鹿种群密度制约现象与发展策略. 动物学报, **47** (1): 54–59.