

重引入对麋鹿种群分娩定时及同步化的影响

孟庆辉^{1,2*} 柏超³ 宋苑^{1,2} 单云芳^{1,2} 李俊芳^{1,2}
张树苗^{1,2} 白加德^{1,2} 钟震宇^{1,2} 张成林³ 孟秀祥⁴

(1 北京市科学技术研究院北京麋鹿生态实验中心, 北京 100076) (2 国家鹿类保护研究中心, 北京 100076)
(3 圈养野生动物技术北京市重点实验室, 北京动物园, 北京 100044) (4 中国人民大学环境学院, 北京 100081)

摘要: 种群持续繁殖是重引入物种对原灭绝地气候成功恢复适应的重要标志, 研究重引入前后种群的繁殖波动规律, 可为重引入管理者提供精准的繁殖预测信息和科学依据。本文整理北京重引入麋鹿种群后的1987年、1997年、2007年和2017年的总分娩数据, 以每年最早分娩日作参照基准, 统计个体分娩距此的天数, 计算同步化率, 并用ANOVA分析气温、降水、空气湿度、光照等变量对麋鹿分娩定时格局的影响。结果表明: (1) 引入后麋鹿种群年分娩节律呈“钟摆样”前后摆动, 后逐渐回调, 并最终处于相对稳定状态: 时隔85年(从灭绝至重引入)后, 北京麋鹿种群首次分娩时间较乌邦寺种群推迟35~42 d; 重引入定植阶段: 分娩节律逐年提前; 种群扩繁阶段: 分娩节律逐年向后推迟; 种群复壮阶段: 分娩节律又逐年微回调并最终处于稳定状态。(2) 北京麋鹿种群分娩有较强光周期定时和同步化: 在重引入的第一年, 分娩同步化率达到0~25%、25%~50%、50%~75%, 分别用时18 d、14 d、5 d; 重引入定植阶段分别用时41 d、19 d、11 d; 种群扩繁阶段分别用时45 d、10 d、9 d; 种群复壮阶段分别用时34 d、20 d和11 d。(3) 累积光照和积温, 对北京麋鹿种群正常分娩启动影响差异极显著, 对同步化分娩没有影响: 妊娠期积温达到(2748.34 ± 157.69)°C, 累计光照达到(3684.77 ± 514.26) h可启动正常分娩。(4) 北京麋鹿种群的分娩峰期与地上生物量峰期相关; 从分娩时间来看, 北京麋鹿种群已经恢复了对原灭绝地气候的适应。(5) 随时间增长, 北京麋鹿种群非同步化分娩的个体数量逐年增加, 分娩期总跨度并未延长。1997年以来, 平均每年有30%左右的非同步化分娩现象。因此, 基于分娩数据分析表明, 麋鹿引入北京37年后, 种群已经恢复对原灭绝地环境的重适应。

关键词: 重引入生物学; 麋鹿; 繁殖预测; 分娩节律; 定时及同步化

中图分类号: Q958.118

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050(2022)04-0379-08

Timing and synchrony of births in reintroduced Père David's deer (*Elaphurus davidianus*)

MENG Qinghui^{1,2*}, BAI Chao³, SONG Yuan^{1,2}, SHAN Yunfang^{1,2}, LI Junfang^{1,2}, ZHANG Shumiao^{1,2}, BAI Jiade^{1,2}, ZHONG Zhenyu^{1,2}, ZHANG Chenglin³, MENG Xiuxiang⁴

(1 Beijing Milu Ecological Research Center, Beijing Research Institute of Science and Technology, Beijing 100076, China)

(2 National Deer Conservation and Research Center, Beijing 100076, China)

(3 Beijing Key Laboratory of Captive Wildlife Technologies, Beijing Zoo, Beijing 100044, China)

(4 School of Environment, Renmin University of China, Beijing 100081, China)

Abstract: The sustained reproduction is an important landmark of successful adaptation of reintroduced species to climate recovery in the original extinction area. The study of synchronous population reproduction before and after reintroduction can provide accurate breeding prediction information and scientific basis for reintroduction managers. In this paper, we collected the birthing data of the reintroduced Père David's deer population in Beijing in 1987, 1997, 2007, and 2017. The earliest birthing day of each year was used as a baseline to evaluate the delay in birth of reintroduced individu-

基金项目: 北京市自然科学基金(5212003); 北京动物园圈养野生动物技术北京市重点实验室开放课题(ZDK202101)

作者简介: 孟庆辉(1982-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事动物生态及麋鹿保护研究。

收稿日期: 2021-05-05; **接受日期:** 2021-11-05

* 通讯作者, Corresponding author, E-mail: mengqinghui2006@163.com

als and to measure the synchronization rate. ANOVA was used to analyze the effects of temperature, precipitation, air humidity, and light on the birthing timing pattern of reintroduced Père David's deer. The results showed that, (1) After reintroduction, the annual birth rhythm of the population initially oscillated, then gradually reverted, and finally remained in a relatively stable state. After 85 years (from extinction to reintroduction), the first birthing of the new population in Beijing was delayed by 35 – 42 days compared with that of Woburn Abbey population. Reintroduction of colonization stage: the birth rhythm of the new population was advanced annually. Population propagation stage: the rhythm of birth was delayed annually. Population recovery stage: the rhythm of birth was re-back slightly year by year and finally remained stable. (2) Deer parturition has more intense periodic timing and synchronization. In the first year after reintroduction, it took 18, 14, and 5 days to achieve 0 – 25%, 25% – 50%, and 50% – 75% of the delivery rate, respectively. The relocation stage, it took 41, 19, and 11 days to achieve the rate of synchronization 0 – 25%, 25% – 50% to 50% – 75%, respectively. In the re-expanding population stage, it took 45, 10, and 9 days to achieve the rate of synchronization 0 – 25%, 25% – 50% to 50% – 75%, respectively. In the restoration phase, it took 24, 20, and 11 days to achieve the rate of synchronization 0 – 25%, 25% – 50% to 50% – 75%, respectively. (3) Cumulative light and accumulated temperature had significant effects on the birth initiation of Père David's deer but had no relationship with the birth synchronization. The delivery began when the accumulated temperature reached $(2748.34 \pm 157.69) ^\circ\text{C}$ and the accumulated light reached $(3684.77 \pm 514.26) \text{ h}$. (4) There was a correlation between the peak period of birth and aboveground biomass per unit area of reintroduced land. Judging by the rhythm of birth data, the new population has adapted to the climate of the reintroduction site. The number of non-synchronous birth individuals increased annually, but the total span of the delivery period did not extend. Since 1997, the population has had a 30% non-synchronous delivery average year. Therefore, analysis based on birth data reveals that after 37 years of reintroduction, the new population has recovered its adaptation to the habitation where it went extinct 120 years ago.

Key words: Reintroduce biology; Père David's deer (*Elaphurus davidianus*); Propagation prediction; Rhythm of birth; Timing and synchrony

重引入生物学 (reintroduction biology) 指为保护生物多样性, 将濒危物种精准引入已灭绝栖息地使种群再恢复的一门学科 (Doug and Philip, 2008)。保护濒危物种、文明对待生态资源是人与自然共生共存的基础 (Liu *et al.*, 2007)。濒危物种在曾灭绝地的持续繁衍是重引入生物学的重要研究内容 (张付贤等, 2022); 对于重引入的濒危鹿类, 调整其采食、消化节奏和生殖步调, 使种群在原栖息地恢复并与生境植被逐渐重匹配, 可实现在曾灭绝地的持续生存和繁衍 (Whiting *et al.*, 2012)。因此, 研究重引入物种的分娩定时及同步化尤为重要, 直接关系到濒危物种的可解濒危程度。

研究不同迁地间和迁地前后种群的同步繁殖规律, 不仅可为迁地保护及管理提供精准的繁殖节律信息, 而且还可为濒危物种的重引入提供重要的科学依据。如利用牛和羊的同步繁殖策略, 可节省饲养管理成本 (周鼎年, 1984; 曹斌云, 1994; 王忻等, 2009); 对濒危大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 同步排卵的监测, 可判定最佳的人工

授精时机 (刘维新等, 1996)。目前鹿科动物的同步繁殖研究主要集中于以下4个领域: (1) 同步繁殖与维度的关系: 随维度增加, 繁殖跨度逐渐缩小 (Rutberg, 1987); (2) 出生同步与采食生态位的关系: 如出生与牧草返青高度及牧草干物质的匹配研究 (Leuthold and Leuthold, 1975; Skinner *et al.*, 2002); (3) 出生同步与反捕食策略: 如驯鹿 (*Rangifer tarandus*) (Dauphine and McClure, 1974; Adams and Dale, 1998)、马鹿 (*Cervus elaphus*) (Smith and Anderson, 1998)、驼鹿 (*Alces alces*) (Testa *et al.*, 2000)、叉角羚 (*Antilocapra americana*) (Gregg *et al.*, 2001)、狍 (*Capreolus capreolus*) (Panzacchi *et al.*, 2008) 等利用繁殖同步的产仔密度优势, 降低后代遭遇天敌的损耗; (4) 出生同步与交配制度的关系: 多配制较单配制物种有更明显的出生季节性 (Lane *et al.*, 2010)。目前, 迁地保护和物种重引入对繁殖节律的影响还尚未见相关报道。

麋鹿 (*Elaphurus davidianus*) 是我国特有的濒危物种 (蒋志刚等, 2006), 是国家一级重点保护野生动物, IUCN名录中为“野生灭绝” (蒋志刚等,

2006)。1985年从英国乌邦寺(北纬 $51^{\circ}58'$, 西经 $00^{\circ}35'$)重引入北京市大兴区南海子湿地(北纬 $39^{\circ}46'$, 东经 $116^{\circ}27'$) (张付贤等, 2022), 截至2021年中国麋鹿种群数量已达10 000头(张付贤等, 2022), 是成功重引入的3个标志种之一(蒋志刚等, 2006)。然而从灭绝时隔85年, 从英国乌邦寺到北京南海子北纬近 12° 跨度迁移(宋玉成等, 2015), 重引入麋鹿种群是否适应原栖息地气候和生境? 分娩节律发生哪些变化? 这些仍是今天亟需回答的科学问题。本文对北京麋鹿种群重引入37年来繁殖同步化规律进行研究, 可为濒危物种重引入及迁地保护提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区麋鹿种群概况

北京麋鹿生态实验中心(又名北京麋鹿苑), 是麋鹿在中国灭绝85年后, 在原栖息地为重引入而复建的半散养模式保护区。保护区平均海拔9.6 m, 占地60 hm², 属于暖温带半湿润大陆季风气候, 四季分明, 年均气温 13.1°C , 极端低温 -27.4°C , 极端高温 43.4°C , 平均昼夜温差 $10^{\circ}\text{C} \sim 15^{\circ}\text{C}$; 年均降水量约600 mm, 邻永定河和凉水河, 常年湿度在30%~70%, 年均日照5 000~6 200 h, 无霜期(132 ± 9.7) d(程志斌等, 2020)。

该中心分别于1985年和1987年从英国乌邦寺重引进麋鹿20头和18头[平均(14.45 ± 0.51)月龄](张付贤等, 2022)。截止目前共繁殖 F_{21} 代(以1985年从乌邦寺重引入的记为 F_0 代)。

1.2 动物样本及分组

从1985年重引入麋鹿以来, 北京种群采取自由采食、饮水、活动、交配、产仔(未人工干预)的管理模式。冬季适当补饲青贮苜蓿, 一天两次, 时间分别为08:30和15:30, 其他季节均自由采食保护区内湿地植物(孟玉萍等, 2010)。

1.3 种群分娩数据收集

北京麋鹿种群分娩数据来自麋鹿重引入以来的资料记录和退休老职工记录的分娩数据等。本文采用1987年总30头麋鹿分娩数据, 1997年总29头分娩数据, 2007年总34头分娩数据, 2017年总46头分娩数据。乌邦寺种群1980年首例分娩时间为1月25日, 最后一例为9月5日*。

本研究将重引入后1987年(重引入后成功分娩的第一年)定义为初级阶段; 1988—1997年为重引入定植阶段; 1998—2007年为种群扩繁阶段; 2008—2017年为种群复壮阶段。

1.4 北京麋鹿苑环境数据

气象数据: 2016年8月—2017年7月的气象数据由北京市气象信息中心提供, 站点为大兴站(站号54594), 距离研究地点10.3 km; 选择气温(月平均气温)、降水(月总降雨量)、累积光照(母鹿妊娠期内的逐日光照之和)、积温(母鹿妊娠期内 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日均气温总和)等气候数据。1987年、1997年、2007年的气温、降水和光照数据来自国家气象信息中心(<http://data.cma.cn/>)。

地上生物量测定: 2016年8月—2017年7月每月的第1周, 在湖底典型放牧地段上设置50 m $\times$ 20 m样地, 沿长每10 m划分一个观测区, 面积为0.25 m², 齐地面剪下样地内所有地上植株称其鲜重, 装信封带回实验室, 置 75°C 烘箱, 烘12 h后称重, 后每2 h称重一次, 直至恒重, 测地上生物干重(孟庆辉等, 2016)。1987年、1997年、2007年的地上生物量参考自北京麋鹿苑周围永定河山区(直线距离为15~20 km)草地植被数据(杜勇等, 2021)。

1.5 数据整理及分析方法

同步化率: 以每年最早分娩日作为参照基准日, 之后个体分娩距此参照基准日的天数(Rutberg, 1987); 同步化率25%、50% (Rutberg, 1987; Zerbe *et al.*, 2012)、75%和100% (孙军平等, 2017)分别以分娩数量占年度总分娩数的百分比计算。非同步化率 = 1 - 同步化率。

光照与积温数据: 母鹿妊娠期(8月交配结束至来年4月分娩开始)内, 取累积光照和每日积温均值进行计算。

分析方法: 因分娩数据呈现轻度的正偏态分布(Kolmogorov Smirnov test: $Z = 2.670$, $n = 138$, $P = 0.006$), 采取开平方的方法进行转换, 实现数据正态化(Kolmogorov Smirnov test: $Z = 1.024$, $n = 55$, $P = 0.141$)。光照与积温数据首先采用ANOVA分析, 若差异不显著($P > 0.05$), 再基于方差齐性检验结果, 选用LSD进行逐项比较计算降水、地上生物量与麋鹿分娩节律的相关性(孙军平等, 2017)。

* 冰雪玉, 鲍裕民主编. 唯瑜(译). 2018. 我在中国三十年——麋鹿回归中国以及其它故事. 38.

2 结果

2.1 重引入麋鹿种群的分娩时间

北京麋鹿种群总分娩数据 139 例 (图 1)。2—7 月分娩, 高峰在 5 月 12 日 ($\bar{x} = 12.46 \pm 0.63$, $df = 138$, $P = 0.0015$), 最早为 2 月 25 日, 最晚为 7 月 25 日。分娩期总跨度为 109 ~ 150 d (129.37 ± 20.14 , $n = 139$), 其中重引入后首次分娩 (1987 年): 分娩期跨度 116 d; 重引入定植阶段 (1997 年): 109 d; 扩繁阶段 (2007 年): 132 d; 复壮阶段 (2017 年): 150 d。

1985 年麋鹿重引入北京南海子, 1987 年首次分娩产仔, 较乌邦寺麋鹿 1980 年分娩日推迟 31 d, 平均推迟 35 ~ 42 d, 分娩结束较乌邦寺早 77 d。重引入定植阶段 (1997 年): 麋鹿种群分娩启动较 1987 年推迟 43 d, 种群分娩结束较 1987 年推迟 35 d; 整个种群分娩期跨度较 1987 年减少了 8 d。扩繁阶段 (2007 年): 分娩启动较 1997 年提

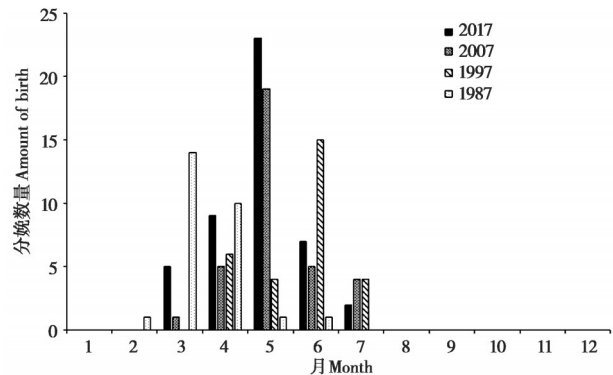


图 1 北京重引入麋鹿种群不同阶段分娩日期变化

Fig. 1 The fawning data of Père David's deer reintroduction stage by Beijing

前 9 d, 分娩结束较 1997 年提前 5 d, 整个种群分娩期跨度较 1997 年延长 4 d。复壮阶段 (2017 年): 分娩启动较 2007 年提前 11 d, 分娩结束较 1997 年提前 13 d, 分娩期跨度较 2007 年提前 2 d (表 1)。

表 1 重引入后北京南海子麋鹿分娩数据

Table 1 The fawning data of ex-situ conservation Père David's deer by Beijing Nanhaizi

地点 Site	年份 Years	首例分娩日期 Date of first birth	分娩同步化率日期 Date of synchronization rate			
			25%	50%	75%	100%
乌邦寺 Woburn Abbey	1980 (设定为 F_0 代)	1980. 1. 25	—	—	—	1980. 9. 5
南海子 Nanhaizi	1987 (F_1 代)	1987. 2. 25	1987. 3. 15	1987. 3. 29	1987. 4. 3	1987. 6. 20
南海子 Nanhaizi	1997	1997. 4. 9	1997. 5. 20	1997. 6. 8	1997. 6. 19	1997. 7. 25
南海子 Nanhaizi	2007	2007. 3. 31	2007. 5. 15	2007. 5. 25	2007. 6. 3	2007. 7. 20
南海子 Nanhaizi	2017	2017. 3. 20	2017. 4. 23	2017. 5. 13	2017. 5. 24	2017. 7. 7

重引入定植阶段麋鹿新种群繁殖节律逐年延迟; 扩繁阶段种群分娩日期逐渐稳定, 分娩启动逐年提前; 复壮阶段分娩逐渐微回调, 整体呈现“钟摆样”波动。但整个分娩周期跨度无明显变化 (图 2)。

2.2 重引入麋鹿新种群分娩同步化

分析 1987 年、1997 年、2007 年、2017 年北京麋鹿种群的分娩数据, 显示种群分娩有较强季节性定时和同步化。其中 5 月 5 日至 7 月 1 日为集中产仔期, 分娩较为同步 (表 2); 重引入定植阶段 (1997 年) 同步化率为 68. 97%; 扩繁阶段 (2007 年) 同步化率为 70. 59%; 复壮阶段 (2017 年) 同步化率为 69. 57%; 1987 年 3 月 10 日至 4 月 5 日的 26 d, 同步化率为 84. 62%。

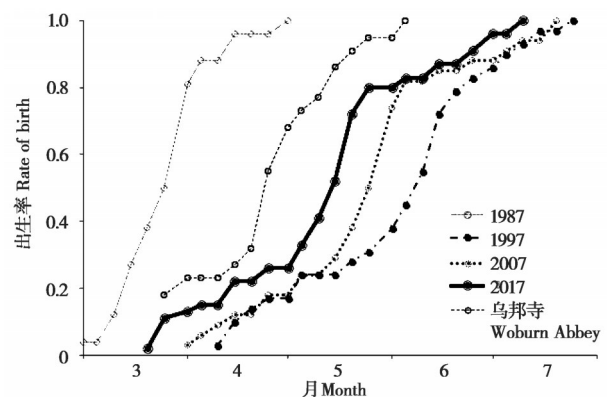


图 2 重引入的北京麋鹿种群与乌邦寺种群 (1980) 的繁殖节律比较

Fig. 2 The parturition rhythm data of the reintroduced Beijing and Woburn Abbey Père David's deer

北京麋鹿种群不同阶段分娩同步化率不同 (表 3)。重引入后首次分娩 (1987 年): 同步化率 0 ~ 25% 为 18 d, 25% ~ 50% 为 14 d, 50% ~ 75% 则仅用时 5 d; 重引入定植阶段 (1997 年): 同步化率 0 ~ 25% 为 41 d, 25% ~ 50% 为 19 d, 50% ~ 75% 则用时 11 d; 扩繁阶段 (2007 年): 同步化率 0 ~ 25% 为 45 d, 25% ~ 50% 为 10 d, 50% ~ 75% 则只用时 9 d; 复壮阶段 (2017 年): 同步化率 0 ~ 25% 为 34 d, 25% ~ 50% 为 20 d, 50% ~ 75% 则只用时 11 d。

表 2 北京南海子麋鹿分娩季节同步化和非同步化分析
Table 2 The synchrony and asynchrony of Père David’s deer by Beijing Nanhaizi

年份 Years	同步化分娩 Synchrony			非同步分娩 Asynchrony		
	数量 No.	天数 Days	同步化率 Rate of synchrony (%)	数量 No.	天数 Days	非同步率 Rate of asynchrony (%)
1987	26	22	84. 62	4	93	15. 38
1997	20	57	68. 97	9	50	31. 03
2007	24	57	70. 59	10	54	29. 41
2017	32	57	69. 57	14	52	30. 43

表 3 北京南海子麋鹿种群分娩同步化分析
Table 3 Analysis of Père David’s deer synchrony by Beijing Nanhaizi

年份 Years	同步化率 Rate of synchrony				分娩总持续天数 Days of duration (day)
	0 ~ 25%	25% ~ 50%	50% ~ 75%	75% ~ 100%	
1987	18	14	5	78	115
1997	41	19	11	36	107
2007	45	10	9	47	111
2017	34	20	11	44	109
平均 (1987 年除外) Mean (except for 1987)	40	16	10	42	109

2.3 物候与麋鹿新种群分娩的关系

2.3.1 光照和积温与麋鹿新种群分娩启动的关系

麋鹿分娩启动日期与累积光照和积温有很大关联 (图 3), 此处采用的光照和积温数据为麋鹿重引入后 1985—2021 年北京的平均物候数值, 结果显示: 当积温达到 $(2748.34 \pm 157.69) ^\circ\text{C}$, 累积光

照达到 $(3684.77 \pm 514.26) \text{ h}$, 麋鹿开始启动正常分娩。累积光照 ($r = 0.8910, n = 46, P = 0.0061$) 和积温 ($r = 0.7535, n = 46, P = 0.0090$) 对分娩启动的影响差异极显著, 对分娩同步化无显著影响 ($F_{1,46} = 2.911, df = 45, P = 0.6460$)。

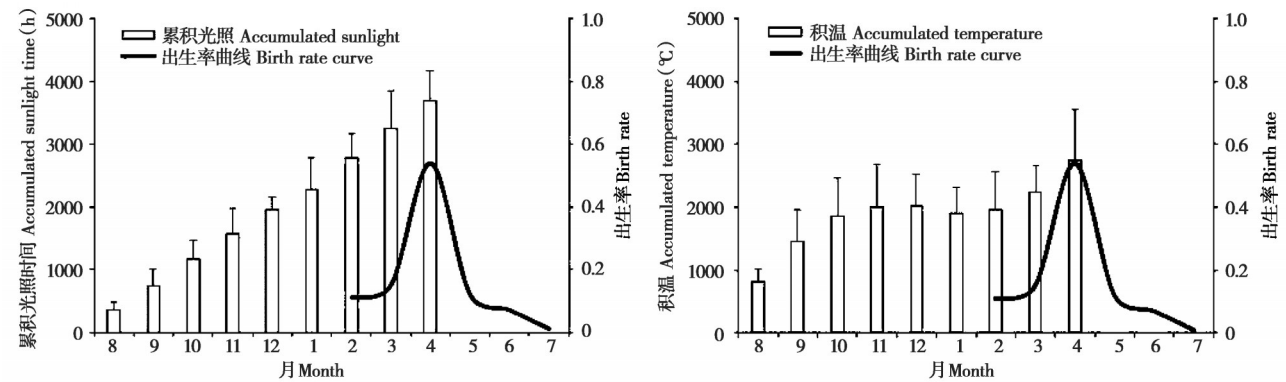


图 3 麋鹿妊娠期累积光照和积温与出生率的关系
Fig. 3 Relationship between accumulated sunlight, temperature and birth rate of Père David’s deer pregnancy

2.3.2 降水量和生物量与麋鹿新种群分娩节律的关系

麋鹿的分娩峰期与栖息地单位面积地上生物量峰期相关 ($r = 0.7856$, $n = 46$, $P = 0.2519$), 与降水量相关 ($r = 0.9271$, $n = 46$, $P = 0.0008$)。北京麋鹿新种群 35 年的平均分娩峰期为 4 月 12 日, 降水和单位面积地上生物量平均峰期为 5 月 12 日至 10 月 22 日, 与幼龄麋鹿出生后 1~2 月龄断奶采食牧草日期相吻合。

2.3.3 新种群麋鹿分娩对重引入地的恢复适应

将每年的平均分娩日和地上生物量峰值的间隔期比较, 其中重引入后首次分娩 (1987 年): 平均分娩日较地上生物量峰值期提前 108 d; 重引入定植阶段 (1997 年): 平均分娩日较地上生物量峰值期提前 11 d; 扩繁阶段 (2007 年): 平均分娩日较地上生物量峰值期提前 47 d; 复壮阶段 (2017 年): 平均分娩日较地上生物量峰值期提前 56 d (表 4)。

表 4 平均分娩日与地上生物量峰值的关系

Table 4 Relationship between average birth day and peak aboveground biomass

平均分娩时间 Average birth day	地上生物量峰值期 Peak aboveground biomass	相隔天数 Number of days apart
1987. 3. 27 (27. 19 $\pm$ 2. 29, $n = 30$)	1987. 7. 17	108
1997. 7. 1 (24. 22 $\pm$ 3. 67, $n = 29$)	1997. 7. 12	11
2007. 5. 28 (20. 24 $\pm$ 1. 27, $n = 34$)	2007. 7. 14	47
2017. 5. 20 (19. 96 $\pm$ 1. 18, $n = 46$)	2017. 7. 15	56

1987 年、1997 年和 2017 年数据来自永定河山区地上植被 (杜勇等, 2021)

The data of 1987, 1997 and 2017 are from vegetation in the Yongding River Mountains (Du *et al.*, 2021)

3 讨论

3.1 光周期对麋鹿新种群分娩期跨度的影响

重引入定植阶段: 重引入造成麋鹿种群分娩节律提前, 但对分娩期跨度影响不大。这一阶段, 平均产仔日期为 3 月 27 日, 地上生物量峰值在 7 月 17 日, 与分娩时间差为 108 d 左右。麋鹿幼仔产一周左右采食牧草, 50 d 后陆续断奶, 开始大量进食, 但牧草尚未达到峰期 (梁崇岐等, 1993)。此阶段增加了母鹿的负担 (杨道德等, 2007), 尚需母体继续哺乳和抚育, 一方面影响幼仔的生长、生茸、越冬体重和存活率; 另一方面也会使母鹿产后恢复较慢, 推迟发情 (孟庆辉等, 2022), 影响受精率、来年分娩日期和出生幼仔体重等 (Zerbe *et al.*, 2012)。

扩繁阶段: 麋鹿分娩节律逐年推迟。重引入 10 年后, 种群分娩时间整体向后推迟 (39.05 ± 5.23) d, 年均推迟 (3.90 ± 0.24) d。此阶段, 平均产仔日期为 7 月 1 日, 地上生物量峰值为 7 月 12 日, 与分娩时间差 11 d 左右。此阶段牧草地上生物量峰期来临, 减轻了母鹿哺育幼仔的压力 (孟玉萍等, 2010), 对母鹿影响较小, 但因分娩推迟, 减少了秋后幼仔的采食天数 (孟庆辉等, 2016), 降低了幼仔越冬体重和冬季存活率, 且使幼仔鹿茸生长和发情等延迟一年, 造成繁殖劣势 (杨道德

等, 2007; 孟庆辉等, 2022)。

复壮阶段: 麋鹿分娩时间又逐渐微回调。种群分娩时间微回调了 (19.14 ± 0.86) d, 年均提前了 (1.91 ± 0.08) d。此阶段, 平均产仔日期为 5 月 28 日, 地上生物量峰值为 7 月 14 日, 与分娩时间差为 47 d, 2017 年产仔平均日期为 5 月 20 日, 地上生物量峰值为 7 月 15 日, 与分娩时间差为 56 d。此阶段种群分娩处于较为合理的区间内, 母体恢复体况和幼仔发育都处于较好的时期 (张付贤等, 2022), 利于母鹿继续发情繁殖和幼仔发育 (Rutberg, 1987)。

因此, 单从分娩时间来看, 麋鹿新种群已经逐渐恢复了对北京南海子湿地气候的重适应。重引入的麋鹿分娩节律和分娩期跨度与江苏大丰和湖北石首的麋鹿重引入种群是否表现类似, 还需要进一步深入研究。

3.2 重引入不同阶段对麋鹿新种群同步化的影响

重引入定植阶段 (1997 年): 麋鹿新种群的分娩较集中于同步化率的 0~25% 和 75%~100% 两个阶段, 占年度总分娩数量的 71.96%。其中同步化率达到 25% 时, 分娩率占年度总分娩数量的 38.32%, 可见此阶段对种群分娩启动有较大影响。

扩繁阶段 (2007 年): 麋鹿新种群的分娩同步化率继续提升, 同步化率的 0~25% 和 75%~100% 两

个阶段, 占年度总分娩数量的82.88%; 同步化率25%~75%的分娩率则为17.12%, 新种群分娩跨度也达到了最长(111 d)。种群分娩同步化率介于75%~100%的规律, 与林麝(*Moschus berezovskii*)的研究类似(孙军平等, 2017)。

复壮阶段(2017年): 分娩同步化率也逐渐微回调, 同步化率0~25%和75%~100%两个阶段, 占年度总分娩数量的75.23%。此结果, 可能跟新种群的输出(张付贤等, 2022)、胚胎着床延迟(Brinklow and Loudon, 1993)、疾病(杨道德等, 2007)、近亲繁殖(Rutberg, 1987)、气候变化(Berger, 1992)和个体的个性(孟庆辉, 2014; 孟庆辉等, 2022)等有关联, 需要继续开展深入研究, 进一步推动对雌性动物卵泡分泌定时的深入理解。

随新种群的繁衍, 非同步化分娩的数量逐年增加, 而分娩期总跨度并未改变, 与迁入地北京南海子湿地牧草生长及麋鹿所需生态位(孟庆辉等, 2016)也有一定关系。1997—2017年的20年间, 重引入后的麋鹿每年平均有30%左右的非同步化分娩现象, 种群分娩前10%的个体和后10%的个体的个性及其采食活动等生态规律(孟庆辉等, 2022)也是今后继续关注的焦点, 本文不足之处在于没有进行新种群不同繁殖代数间的分娩同步关系分析, 今后需要加强相关研究。

3.3 重引入地物候对麋鹿新种群分娩的影响

本研究发现重引入地的光照和积温与麋鹿种群分娩启动有较大关联, 可能是光周期与下丘脑催产素分泌有关(马泽芳, 2007; 刘利敏, 2008; 孟繁臣, 2017)。地上生物量峰值、降水峰值与分娩峰值尤为相关(孟庆辉等, 2017), 新种群麋鹿分娩峰值与重引入地的地上生物量峰值之间有一个哺乳期间隔, 麋鹿幼仔出生日期和地上生物量的生长峰期并不相同, 而是在一两个月后麋鹿幼仔陆续开始断奶, 需大量采食牧草阶段与地上生物量峰值相匹配(孟庆辉等, 2022), 本文因缺乏北京麋鹿苑历史上地上生物量等相关数据, 只能参考距离15~25 km永定河山区的地上植被情况(杜勇等, 2021)进行分析。

在重引入定植阶段, 新种群分娩节律提前, 母鹿自身增加负担以响应环境; 种群扩繁阶段, 分娩节律逐年推迟, 减少新生幼仔采食地上生物量的天数, 影响幼仔越冬及繁殖潜力; 种群复壮阶

段, 分娩节律逐年微回调并趋于稳定, 种群繁殖节律达到与曾灭绝地生境的匹配。但随时间的增加, 非同步分娩现象也逐渐增多。

综上所述, 北京南海子麋鹿新种群在灭绝85年后, 实施原地精准重引入项目, 经37年的人工保护和种群内部调整, 繁殖节律已与灭绝地物候达到了较好的重匹配和再适应。本文对重引入麋鹿新种群繁殖节律进行长期监测和初步总结, 以期对其他物种的精准重引入灭绝地及迁地保护提供借鉴, 为今后重引入种群的管理、迁地保护和濒危物种的解濒危工作奠定科学基础。

参考文献:

- Adams L G, Dale B W. 1998. Timing and synchrony of parturition in Alaskan caribou. *Journal of Mammalogy*, **79**: 287–294.
- Berger J. 1992. Facilitation of reproductive synchrony by gestation adjustment in gregarious mammals: a new hypothesis. *Ecology*, **73** (1): 323–329.
- Brinklow B R, Loudon A S. 1993. Gestation periods in the Père David's deer (*Elaphurus davidianus*): evidence for embryonic diapause or delayed development. *Reproduction, Fertility and Development*, **5** (5): 567–575.
- Cheng Z B, Liu D Z, Bai J D, Zhong Z Y, Lin R S, Tian D X, Wang L B, Liu T. 2020. Circannual rhythms in antler casting, harem master alternation, calves' birth of Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) and their environmental influencing factors. *Acta Ecologica Sinica*, **40** (18): 6659–6671. (in Chinese)
- Dauphine T C, McClure R L. 1974. Synchronous mating in Canadian barren-ground caribou. *Journal of Wildlife Management*, **38**: 54–66.
- Doug P A, Philip J S. 2008. Directions in reintroduction biology. *Trends in Ecology & Evolution*, **23** (1): 20–25.
- Du Y, Li J Z, Niu K J, Feng P, Hu Q F, Zheng Y C. 2021. Analysis of vegetation change and its impact on natural runoff in the mountain area of the Yongding River Basin from 1982 to 2015. *Journal of Hydraulic Engineering*, **52** (4): 1–15. (in Chinese)
- Gregg M A, Bray M, Kilbride K M, Dunbar M R. 2001. Birth synchrony and survival of pronghorn fawns. *Journal of Wildlife Management*, **65**: 19–24.
- Jiang Z G, Li C W, Zeng Y. 2006. Mating system mating tactics and effective population size in Père David's deer (*Elaphurus davidianus*). *Acta Ecologica Sinica*, **26** (7): 2255–2260. (in Chinese)
- Lane J E, Boutin S, Speakman J R, Humphries M M. 2010. Energetic costs of male reproduction in a scramble competition mating system. *Journal of Animal Ecology*, **79**: 27–34.
- Leuthold W, Leuthold B M. 1975. Temporal patterns of reproduction in ungulates of Tsavo East National Park, Kenya. *African Journal of Ecology*, **13**: 159–169.
- Liu J G, Thomas D, Stephen R C, Marina A, Carl F, Emilio M, Alice N P, Peter D, Timothy K, Jane L, Elinor O, Ouyang Z Y, William P, Charles L R, Stephen H S, William W T. 2007. Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, **317**: 1513–1516.
- Liang C Q, Lu J, Sun D M, Ding Y H, Xu A H. 1993. Study on the adaption of milu herd to the photoperiod at Dafeng Reserve. *For-*

- est Research*, **6** (6): 650–653. (in Chinese)
- Ma Z F. 2007. Studies on disciplinary of ovarian activities in the Northeast Sika deer within estrous cycle. Ph. D thesis. Harbin: Northeast Agricultural University. (in Chinese)
- Meng Y P, Li K, Zhang L Y, Yang M, Chen Q. 2010. Measurement and analysis on feed intake of *Elaphurus davidianus* in Beijing Milu Park. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, **32** (4): 39–42. (in Chinese)
- Meng Q H. 2014. Behavioral syndrome in captive musk deer. Ph. D thesis. Beijing: Minzu University of China. (in Chinese)
- Meng Q H, Chen Y X, Bai J D, Liu Y J, Tao X P, Liu C, Dong H M, Guo Q Y, Zhong Z Y, Zhu J W, Meng Y P, Chen K S, Cheng Z H. 2016. Seasonal subtle alternation of yak foraging and its effect under pasturing condition. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **32** (18): 219–224. (in Chinese)
- Meng Q H, Chen Y X, Dong H M, Bai J D, Liu Y J, Guo Q Y, Cheng Z H. 2017. The distribution characteristics and populations of yak. *Acta Ecologica Animalis Domastici*, **38** (3): 80–85. (in Chinese)
- Meng Q H, Song Y, Shan Y F, Li J F, Bai J D, Meng X X, Bai C, Zhang C L. 2022. The relationship between boldness and aggression coupling and the fluctuation of rank in male Père David's deer (*Elaphurus davidianus*). *Acta Theriologica Sinica*, **42** (2): 159–167. (in Chinese)
- Meng F C. 2017. Effects of different light color and light intensity of LED on reproductive performance of Hyla female rabbits. Master's thesis. Xi'an: Northwest A&F University. (in Chinese)
- Panzacchi M, Linnell J D C, Odden J, Odden M, Andersen R. 2008. When a generalist becomes a specialist: patterns of red fox predation on roe deer fawns under contrasting conditions. *Canadian Journal of Zoology*, **86**: 116–126.
- Rutberg A T. 1987. Adaptive hypotheses of birth synchrony in ruminants: an interspecific test. *The American Naturalist*, **130** (5): 692–710.
- Skinner J D, Moss D G, Skinner D C. 2002. Inherent seasonality in the breeding seasons of African mammals: evidence from captive breeding. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, **57**: 25.
- Smith B L, Anderson S H. 1998. Juvenile survival and population regulation of the Jackson elk herd. *Journal of Wildlife Management*, **62**: 1036–1045.
- Song Y C, Li P F, Yang D D, Wen H J, Zhang Y M, Jiang Z G. 2015. Regulation of free-ranging Milu population in Shishou, Hubei, China: a density-dependent decrease in birth rate. *Biodiversity Science*, **23** (1): 33–40. (in Chinese)
- Sun J P, Cai Y H, Yang Y, Wang J, Fu W L, Cheng J G, Meng X X. 2017. Reproduction rhythm of captive forest musk deer (*Moschus berezovskii*) at the Maerkang Musk Deer Farm: parturition timing and synchrony. *Acta Ecologica Sinica*, **37** (5): 1611–1616. (in Chinese)
- Testa J W, Becker E F, Lee G R. 2000. Temporal patterns in the survival of twin and single moose calves (*Alces alces*) in southcentral Alaska. *Journal of Mammalogy*, **81**: 162–168.
- Whiting J C, Olson D D, Shannon Justin M, Bowyer R T, Klaver W R, Flinders J T. 2012. Timing and synchrony of births in bighorn sheep: implications for reintroduction and conservation. *Wildlife Research*, **39**: 3565–357.
- Yang D D, Ma J Z, He Z, Li P F, Wen H J, Jiang Z G. 2007. Population dynamics of the Père David's deer *Elaphurus davidianus* in Shishou Milu National Nature Reserve, Hubei Province, China. *Acta Zoologica Sinica*, **53** (6): 947–952. (in Chinese)
- Zerbe P, Marcus C, Daryl C, Laurie B L, Eberhard R, Jürgen W S, Jean-Michel H, Dennis W H M. 2012. Reproductive seasonality in captive wild ruminants: implications for biogeographical adaptation, photoperiodic control, and life history. *Biological Reviews*, **87** (4): 965–990.
- Zhang F X, Meng Q H, Jiang Z G, Meng X X, Cheng Z B, Song Y, Bai J D, Ding Y H, Wen H J. 2022. The vicissitudes of fate and future protection prospects of Père David's deer. *Acta Ecologica Sinica*, **42** (1): 1–10.
- 马泽芳. 2007. 东北梅花鹿性周期内卵巢活动规律的研究. 哈尔滨: 东北农业大学博士学位论文.
- 王忻, 刘月琴, 张英杰, 郭婷婷. 2009. 光照控制诱导非繁殖季节蒙古羊发情排卵效果研究. 中国畜牧杂志, **45** (7): 55–57.
- 孙军平, 蔡永华, 杨营, 王静, 付文龙, 程建国, 孟秀祥. 2017. 驯养林麝 (*Moschus berezovskii*) 的繁殖节律: 分娩定时及同步化. 生态学报, **37** (5): 1611–1616.
- 刘利敏. 2008. 雌激素受体 β (ER β) 对雌性棕色田鼠社会行为及其脑区 OTR 和 AVPV1aR 表达的影响. 西安: 陕西师范大学硕士学位论文.
- 刘维新, 谢钟, 刘农林. 1996. 大熊猫人工繁殖研究现状. 生物学通报, **10** (9): 5–7.
- 宋玉成, 李鹏飞, 杨道德, 温华军, 张玉铭, 蒋志刚. 2015. 湖北石首散养麋鹿种群的调控机制: 密度制约下种群产仔率下降. 生物多样性, **23** (1): 33–40.
- 张付贤, 孟庆辉, 蒋志刚, 孟秀祥, 程志斌, 宋苑, 白加德, 丁玉华, 温华军. 2022. 麋鹿沧桑命运与未来保护展望. 生态学报, **42** (1): 1–10.
- 杜勇, 李建柱, 牛凯杰, 冯平, 胡庆芳, 郑彦辰. 2021. 1982—2015 年永定河山区植被变化及对天然径流的影响. 水利学报, **52** (4): 1–15.
- 杨道德, 马建章, 何振, 李鹏飞, 温华军, 蒋志刚. 2007. 湖北石首麋鹿国家级自然保护区麋鹿种群动态. 动物学报, **53** (6): 947–952.
- 孟玉萍, 李坤, 张林源, 杨萌, 陈顺. 2010. 北京麋鹿苑麋鹿采食量测定分析. 特产研究, **32** (4): 39–42.
- 孟庆辉. 2014. 圈养马麝行为综合研究. 北京: 中央民族大学博士学位论文.
- 孟庆辉, 陈永杏, 白加德, 刘艳菊, 陶秀萍, 刘翀, 董红敏, 郭青云, 钟震宇, 朱佳伟, 孟玉萍, 陈开胜, 成振华. 2016. 放牧条件下白牦牛采食的季节性微调整及其效应. 农业工程学报, **32** (18): 219–224.
- 孟庆辉, 陈永杏, 董红敏, 白加德, 刘艳菊, 郭青云, 成振华. 2017. 牦牛分布特点及其种群数量. 家畜生态学报, **38** (3): 80–85.
- 孟庆辉, 宋苑, 单云芳, 李俊芳, 白加德, 孟秀祥, 柏超, 张成林. 2022. 雄性麋鹿胆量和侵犯耦合与等级序位变化的关系. 兽类学报, **42** (2): 159–167.
- 孟繁臣. 2017. LED 光源不同光色与光照度对伊拉肉兔母兔繁殖性能的影响. 西安: 西北农林科技大学硕士学位论文.
- 周鼎年. 1984. 动物遗传和繁殖. 中国良种黄牛, **1** (3): 54–62.
- 梁崇岐, 陆军, 孙大明, 丁玉华, 徐安红. 1993. 大丰麋鹿群对光周期适应的研究. 林业科学研究, **6** (6): 650–653.
- 蒋志刚, 李春旺, 曾岩. 2006. 麋鹿的配偶制度、交配计策与有效种群. 生态学报, **26** (7): 2255–2260.
- 程志斌, 刘定震, 白加德, 钟震宇, 林润生, 田东晓, 王丽斌, 刘田. 2020. 麋鹿鹿角脱落、群主更替、产仔的年节律及其环境影响因子. 生态学报, **40** (18): 6659–6671.
- 曹斌云. 1994. 光照周期信号在绵羊松果腺—丘脑下部的传递. 家畜生态, **15** (2): 40–44.