

DOI: 10.20103/j.stxb.202307051442

孟庆辉, 夏志强, 单云芳, 李俊芳, 胡华刚, 肖璇, 白加德, 钟震宇, 孟秀祥, 张付贤, 柏超, 张成林. 不同光照时长对麋鹿茸生长和繁殖季的溢出效应. 生态学报, 2024, 44(10): 4368-4376.

Meng Q H, Xia Z Q, Shan Y F, Li J F, Hu H G, Xiao X, Bai J D, Zhong Z Y, Meng X X, Zhang F X, Bai C, Zhang C L. Effects of light duration times on the ecological overflow of antler growth and reproductive dominance of male Père David's deer (*Elaphurus davidianus*). Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(10): 4368-4376.

不同光照时长对麋鹿茸生长和繁殖季的溢出效应

孟庆辉^{1,*}, 夏志强^{1,2}, 单云芳¹, 李俊芳¹, 胡华刚³, 肖璇³, 白加德¹, 钟震宇¹, 孟秀祥⁴, 张付贤⁵, 柏超⁶, 张成林⁶

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 河南科技学院, 新乡 453003

3 北京小汤山医院, 北京 102211

4 中国人民大学环境学院, 北京 100081

5 长江大学动物科学学院, 荆州 434023

6 北京动物园, 北京 100044

摘要:光周期可影响鹿角脱落和新茸再生, 麋(*Elaphurus davidianus*)冬至解角, 冬季持续的光照时长改变对鹿茸生长速度、角形态发育及夏季的繁殖溢出效应尚未见相关报道。依托北京麋鹿苑 2018 年出生的同父异母雄性麋鹿 12 头, 于 2021 年 11 月—2023 年 3 月进行光照时长处理实验, 依次分组为: 自然光照(对照组)、缩短光照 2h、延长光照 3h 和 6h; 记录实验麋鹿解角日期, 红外测量新茸再生速度, 测定脱落的麋角形态参数, 并持续追踪记录翌年发情期等级序位、打斗、交配、繁殖绩效等参数。结果显示: 持续缩短 2h 光照(6L:18D)使麋鹿解角日期、角主干总长度、单角重量分别较对照组(8L:16D), 提前(8.5±0.4)d、缩短 2.93cm($P<0.01$, $n=3$)、减轻 9.81g($P<0.01$, $n=3$); 延长 3h 光照(10L:14D)使麋鹿解角日期、角主干总长度、单角重量分别较对照组(8L:16D), 推迟(10.5±0.3)d、增长 5.47cm($P<0.01$, $n=6$)、增加 18.64g($P<0.01$, $n=6$); 延长 6h 光照(12L:12D)使麋鹿解角日期、角主干总长度、单角重量较对照组(8L:16D), 分别推迟(13.5±0.6)d、增长 10.43cm($P<0.01$, $n=6$)、增加 44.31g($P<0.01$, $n=6$)。光照时长对麋角切片重量的影响差异极显著($P<0.01$, $n=6$), 缩短 2h 光照(6L:18D)使麋角切片重量较对照组(8L:16D)减轻(0.1230±0.0561)g/片; 延长光照 3h(10L:14D)、6h(12L:12D)使麋角切片重量较对照组(8L:16D)分别增加(0.1200±0.0318)g/片、(0.3133±0.0618)g/片; 冬季延长光照可明显增加夏季雄性麋鹿的交配机会和爬跨时长, 增加发情持续天数、累积持续时间, 增加查验母鹿发情、维护领地和圈群次数, 提高交配成功率。综上所述, 麋角脱落与光照时长之间密切相关, 冬季持续光照时长变化对麋角脱落日期及繁殖产生了溢出效应, 其机理仍需进一步研究, 结果可为今后开展不同光照对麋角脱落及新茸再生多样化的分子调控机制研究提供理论支撑, 可指导鹿科动物鹿茸产量提高、育种、保护与可持续发展。

关键词: 麋角; 生茸周期; 光照时长; 等级序位; 繁殖优势; 北京麋鹿苑

Effects of light duration times on the ecological overflow of antler growth and reproductive dominance of male Père David's deer (*Elaphurus davidianus*)

MENG Qinghui^{1,*}, XIA Zhiqiang^{1,2}, SHAN Yunfang¹, LI Junfang¹, HU Huagang³, XIAO Xuan³, BAI Jiade¹, ZHONG Zhenyu¹, MENG Xiuxiang⁴, ZHANG Fuxian⁵, BAI Chao⁶, ZHANG Chenglin⁶

1 Beijing Milu Ecological Research Center, Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100076, China

2 Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China

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); 北京市财政项目(24CA003, 24CD007)

收稿日期: 2023-07-05; **网络出版日期:** 2024-01-24

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

3 Beijing Xiaotangshan Hospital, Beijing 102211, China

4 School of Environmental Sciences, Renmin University of China, Beijing 100081, China

5 College of Animal Science, Yangtze University, Jingzhou 434023, China

6 Beijing Zoo, Beijing 100044, China

Abstract: The photocycle can affect antler shedding and new antler regeneration in Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) during winter solstice. The spillover effect of continuous light duration change in young stage on antler growth and reproduction during estrus has not been reported. In this study, 12 male milu deer born in Beijing Milu Park (April 5, 2018—April 20, 2018) were subjected to different light treatments in sequence during the experiment period from November 2021 to March 2023: Control group (natural light), Shortened light for 2h, Extended light for 3h, Extended light for 6h. The study aimed to monitor the continuous influence of light duration on milu antler shedding cycle and the regulation of new antler regeneration rate, analyze the relationship between light duration and the shed antler cross-section parameter factors, and continue to track the corresponding relationship between estrus ranking and fighting, mating and reproduction performance caused by the diagonal influence of light duration during antler growth. The results showed that continuous shortening of illumination for 2 h (6L:18D) could advance the shedding date of milu by 8.5 d compared with that of control group (8L:16D). Prolonged illumination for 3 h (10L:14D) and 6 h (12L:12D) delayed the shedding date by 10.5 d and 13.5 d, respectively, compared with the control group (8L:16D). Compared with control group (8L:16D), the Antler length increased by 5.47 cm ($P<0.01$, $n=6$) and the weight increased by 18.64g ($P<0.01$, $n=6$) when the illumination time was extended for 3 h (10L:14D). Compared with the control group (8L:16D), the Antler length increased by 10.43 cm ($P<0.01$, $n=6$) and the weight increased by 44.31 g ($P<0.01$, $n=6$) after 6 h (12L:12D). Shortening the illumination for 2 h (6L:18D) shortened the Antler length by 2.93 cm ($P<0.01$, $n=3$) compared with the control group (8L:16D), and reduced the weight by 9.81 g ($P<0.01$, $n=3$) compared with the control group (8L:16D). Prolonged illumination had significant difference on the weight of milu antler slice ($P<0.01$, $n=6$). Prolonged illumination for 3 h (10L:14D) and 6 h (12L:12D) increased the weight of milu antler slice by (0.1200 ± 0.0318) g/ slice and (0.3133 ± 0.0618) g/ slice compared with control group (8L:16D), respectively. The section weight of the shortened 2 h group (6L:18D) was (0.1230 ± 0.0561) g/ piece compared with that of the control group (8L:16D). Prolongation of light in the young stage could significantly increase the mating opportunity and mating time of adult male milu, increase the duration of estrus and cumulative duration, increase the check of estrus of female deer, maintain territory and group, and improve the mating success rate. To sum up, there was a close correlation between old antler shedding and light duration in milu, and the change of sustained light duration at young age had spillover effects on the date and reproduction of adult milu antler. The mechanism still needs further study, and the results can provide theoretical support for future studies on the molecular regulatory mechanisms of different light on old antler shedding and the diversification of new antler regeneration in milu. It can guide the yield improvement, breeding, protection and sustainable development of deer antler.

Key Words: Père David's deer antlers; regeneration cycle of velvet; light duration; rank order; reproductive advantage; Beijing Milu Park

生物钟是内生的生物系统,可节律的控制机体的生理和行为活动,光作为一种重要的环境刺激因素,对生物钟节律有着广泛的影响。合理延长光照可影响动物的日活动节律、生理与繁殖等状态,如影响食欲、延长采食时间、增加 V_D 的合成与代谢、提升牛 (*Bos taurus*)、羊 (*Merycododon gracilis*)、猪 (*Sus scrofa*) 的产奶量,造成畜禽增重加快与性成熟时间提前^[1];光照不足同样可使畜禽代谢减慢、生长发育受阻、性成熟推迟等^[2];过长、过强的光照溢出,会造成动物神经兴奋、眼疲劳、活动量增大、代谢提升,导致饲养成本浪费和肉鸡关节部位发病率升高等情况^[3]。对短日照的鹿类来说,鹿角作为重要的性选择标志^[4],其生-脱周期也受光照^[5]、温

度^[6]、相对湿度^[7]、分布纬度^[8]、营养状况^[9]、体内激素含量^[10]等的影响,光照对同一鹿种群不同个体间鹿角脱落时间的影响也有差异,如白内障麋鹿曾一年内发生两次解角情况^[11-12]。幼龄时期的光照时长改变也会对成年后的繁殖产生影响,如幼龄时的延长光照可造成生殖腺的提前发育,促进睾酮的合成与释放,并增加成年阶段血液中的睾酮水平;还可影响幼龄阶段的雄性行为发育,提高成年时期的性行为活跃度和竞逐配偶能力,提升对雌性的吸引力和交配成功率。

麋(*Elaphurus davidianus*)冬至解角,是中国一级重点保护野生动物,仅分布于平原湿地^[12];两三百万年前从滨海区域演替出来,直至野外灭绝都尚未走出湿地^[12];受人类活动蔓延^[13]、气候变化^[14]、栖息地丧失^[15],自然灾害^[16]、战争^[12]等因素的影响,麋鹿种群数量锐减^[17],迄今 1000 年内仅存的最后一群约 300 头麋鹿在北京南海子皇家猎苑内圈养^[18];后因受永定河洪水、八国联军入侵及义和拳运动等影响,1900 年在野外灭绝。漂泊海外仅存的 18 头麋鹿,1904 年以来经乌邦寺庄园的全力拯救、休整和扩繁^[12];1985 年中国开始麋鹿重引入项目,重启了新的种群重建过程^[18];经过近 38 年的保护努力,时至 2023 年,中国境内共有超过 12000 头麋鹿,分布点达 89 个,初步实现麋鹿的持续放归和野化种群的繁衍^[12]。近年来科研人员对麋鹿的行为^[13]、栖息地质量监测^[15]、疾病防护^[16]、种群调控^[14]、近亲交配^[18]、迁地保育^[15]、野化放归^[12]等开展了一些研究,但光照时长变化对于麋解角的影响尚未见相关报道。

本文通过持续改变幼龄阶段,雄性麋鹿生茸期的光照时长,监测麋角脱落日期、茸生长、角形态发育状况,并追踪成年后的繁殖博弈情况;以期为光照影响鹿茸的再生^[19-20]、麋茸再生多样化机制^[20-22]、角与生殖博弈的研究^[23-24]提供基础支撑。

1 材料与方法

1.1 实验麋鹿情况介绍

本研究选取来自北京麋鹿苑 2018 年 4 月 5—20 日出生的健康无病、体况优良、体重相近,3 岁雄性、12 头麋鹿为研究对象,单独圈舍饲养^[26];试验期为:2021 年 11 月 10 日—2022 年 3 月 31 日,持续 140 d,包括预试期 21 d。本实验雄性麋鹿于 2022 年夏开始有发情表现。

1.2 不同光照处理分组

实验麋鹿分组及编号:(1)自然光照(对照组):实验麋鹿 3 头,依次编号为空-1#、空-2#、空-3#;(2)缩短 2h 光照组:实验麋鹿 3 头(天黑前,将圈舍用黑色塑料遮挡),依次编号为短 2-1#、短 2-2#、短 2-3#;(3)延长 3h 光照组:实验麋鹿 3 头(天黑后,用白炽灯延长照明 3h),依次编号分别为延 3-1#、延 3-2#、延 3-3#;(4)延长 6h 光照组:实验麋鹿 3 头(天黑后,用白炽灯延长照明 6h),依次编号为延 6-1#、延 6-2#、延 6-3#。

自然光照数据来自:国家气象信息中心(<http://data.cma.cn/>)^[14]。

试验麋鹿饲养方案:每日 9:00、15:30 各投喂一次,自由饮水;具体参考麋鹿冬季饲养管理标准^[26],以粗料为主,精料为辅(表 1)。

表 1 北京麋鹿苑冬季麋鹿饲料组成

Table 1 Winter feed composition in Beijing Milu Park

组成 Composition	粗饲料 Crude feed	含量 Purity/%	精料 Concentrate	含量 Purity/%	微量元素 Trace elements	含量 Purity/%
种类 Species	胡萝卜	20.0	玉米粉	10.0	碳酸氢钙	0.4
	苜蓿干草	40.0	豆粕	5.2	盐砖	0.2
	青贮玉米	20.0	麸皮	2.2		
			大麦	2.0		

1.3 麋角横切面制备

2021 年 11 月—2023 年 2 月,搜集、记录试验麋解角编号后,运送至实验室,立即称重,并进行麋角横切,

切片厚度为 1mm,测量并依次记录根部第一横切片断面的长、宽、血管簇管径、切片重量等数据^[26]。

1.4 行为学取样

麋鹿行为学采样和记录参考蒋志刚^[26]和孟庆辉^[13]等方法,依次记录实验麋鹿成年阶段的发情持续天数;每天发情单元数、总持续时间(min/d);爬跨频次、用时(min/d);交配间歇、停歇时间;查验母鹿发情频次、用时(min/d);总吼叫频次、用时(min),维护领地吼叫频次、用时(min),圈群吼叫频次、用时(min),呵斥异性吼叫频次、用时(min),呵斥同类吼叫、用时(min);分析等级优势^[13]、交配机会,记录产仔率等。

1.5 数据统计分析

本实验行为学结果均符合正态分布,齐次性检验中,若方差齐时选择 LSD 方法,以检验各个水平间存在的差异;若方差不齐时选择 Tamhane's T2 以检验总体方差不同的两组之间的差异,通过使用 ANOVA 及 LSD 多重比较来分析不同光照处理组对角长度、增重及繁殖溢出等的影响。显著性水平设置为 0.05。

2 实验结果

2.1 不同光照对麋角脱落及再生周期的影响

实测光照累积情况:对照组累积光照为 1137.91h,平均为(7.54±4.42)h/d(8L:16D);缩短光照 2h 组累积光照为 908.39h,平均为(6.02±3.54)h/d(6L:18D);延长光照 3h 组累积光照为 1482.19h,平均为(9.82±5.73)h/d(10L:14D);延长光照 6h 组累积光照为 1826.47h,平均为(12.10±7.04)h/d(12L:12D)(图 1)。

试验期不同光照处理对 2021—2022 年度和 2021—2022 年度麋角脱落及新茸再生图示,其中初生仔鹿在初茸生长前,由毛旋处长出骨质突起,逐渐形成角基。

结果表明,2021—2022 年度初角茸的生长随冬至后光照延长而逐渐加快;角重随冬至后光照延长而增

大;2022—2023 年度角侧枝和角柄长度随光照延长而呈增长趋势,角主枝长度则随光照延长而呈现缩短趋势(图 2,表 2)。

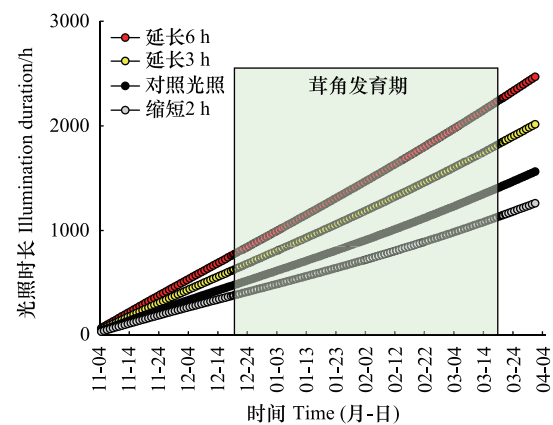


图 1 试验期累积光照情况

Fig.1 Cumulative light condition during the test period

表 2 2021—2023 年度麋鹿角长度及重量参数

Table 2 Length and weight parameters of milu antlers in 2021—2023

年度 Year	指标 Index	缩短光照 2h Shortened light 2h group (6L:18D)	对照 Control group (8L:16D)	延长光照 3h Delayed light 3h group (10L:14D)	延长光照 6h Delayed light 6h group (12L:12D)
2021—2022	角主枝长度/cm	14.66±2.67	17.59±5.21	23.06±2.55	28.02±3.11
	重量/g	29.90±2.24	33.07±5.59	44.72±2.88	52.92±3.45
2022—2023	角主枝长度/cm	26.19±4.28	24.16±5.33	22.06±4.51	20.18±3.86
	角柄长/cm	6.11±0.44	7.12±0.66	9.13±0.87	13.24±1.52
	角侧枝长度/cm	25.22±6.19	32.47±3.14	34.06±5.88	36.18±6.12
	重量/g	183.24±13.69	199.55±10.11	225.19±21.08	268.31±24.17

总之,角增长的长度随光照延长而逐渐增加。其中,延长光照 3h(10L:14D)可使角长度较对照组(8L:16D)增长 5.47cm($P<0.01$, $n=6$),重量较对照组(8L:16D)平均增加 18.64g($P<0.01$, $n=6$),延长光照 6h(12L:12D)可使角长度较对照组(8L:16D)增长 10.43cm($P<0.01$, $n=6$),重量较对照组(8L:16D)平均增加 44.31g($P<0.01$, $n=6$);缩短光照 2h(6L:18D)光照可使角长度较对照组(8L:16D)缩短 2.93cm($P<0.01$,



图2 不同光照刺激幼龄阶段雄性麋鹿角柄发育过程图示

Fig.2 The development process of antler pedicle of young male milu under different light stimulation

$n=3$),重量较对照组(8L:16D)平均减轻 9.81g($P<0.01$, $n=3$)。

2.2 不同光照处理对麋鹿角脱落的影响

结果显示:2021 年度北京麋鹿苑的麋鹿种群脱角始于 11 月 17 日,结束于 2022 年 1 月 21 日,跨度为 63d。具体不同实验组逐日鹿角累积生长长度进行作图(图 3)。

结果表明:缩短光照 2h(6L:18D)可使脱角日期较对照组提前 8.5d;延长光照 3h(10L:14D)可使脱角日期较对照组推迟 10.5d;延长光照 6h(12L:12D)可使脱角日期较对照组推迟 13.5d(表 3)。

2.3 不同光照处理对麋鹿角切片相关参数的影响

结果表明,延长光照对麋鹿角切片重量的影响差异极显著($P=0.0044, n=6$),延长 3h 光照(10L:14D)可使切片重量较对照组(8L:16D)增加 $\bar{x}=(0.1200\pm0.0318\text{ g})/\text{片}$;延长 6h 光照(12L:12D)可使角切片重量较对照组(8L:16D)增加 $\bar{x}=(0.3133\pm0.0618)\text{ g}/\text{片}$;缩短 2h 光照组(6L:18D)切片重量较对照组(8L:16D)减轻 $\bar{x}=(0.1230\pm0.0561)\text{ g}/\text{片}$ 。

2.4 不同光照处理对雄性的繁殖溢出效应

2022 年试验雄性麋鹿 3 头有发情表现,2023 年试验雄性麋鹿共 9 头有明显的发情表现,其结果显示:延长光照可明显增加雄性麋鹿的交配机会、提升每天的发情单元数、增加发情持续天数、发情总持续时间、延长爬跨时长;增加查验母鹿发情、吼叫、维护领地和圈群次数,提高交配成功率,表 5。

3 讨论

动物对光的依赖程度因物种、栖息环境和生理特性等而异,这些差异为我们了解动物的行为和生理机制提供了线索。如春季光线强度逐渐增加时,促进鸟类新羽毛的生长,秋季日照减短时,羽毛生长减缓,储存能量以越冬;夏季阳光充足,毛发的生长速度加快,冬季则减缓,过度日光暴晒和紫外线辐射可以导致某些动物毛发变色或退色;促进维生素 D 的合成和吸收,对爬行动物的骨骼健康和蜕皮过程都非常重要;当白天逐渐增长时,鸟类会感知到春季的来临,启动其迁徙行为,当白天时间减少时,鸟类会感知到冬季的到来,开始迁徙至更温暖的地区。光照强度和方向可以提供给鸟类导航的参考,帮助它们确定迁徙路线,寻找适宜的栖息地和补给站;在白昼中,鸟类能够更好地观察和定位食物和资源的位置;许多鸟类会选择在春季迁徙到繁殖地,利用光照适宜的季节寻找合适的繁殖伴侣和筑巢地点。此外,光照条件还可以影响鸟类繁殖期的长度和成功率。

3.1 光周期与麋鹿角脱落的关系

国内外目前对鹿角脱落与光周期的关系已开展了部分研究^[4-11],前期研究结果也表明,光信号持续刺激松果体,影响内分泌与褪黑素水平,并通过 TGF- β 途径影响鹿茸角再生。麋鹿与其他鹿类不同,冬至受温度、雌激素、雄激素、褪黑素等低浓度长时间持续刺激,开始脱角,机制还待进一步揭示和完善,冬季光照逐渐缩短后,麋鹿开始茸胚孕育和茸芽生长^[26]。本研究发现,持续缩短光照 2h(6L:18D)使角脱落日期较对照组提前 8.5d;延长光照 3h(10L:14D)使角脱落日期较对照组推迟 10.5d;延长光照 6h(12L:12D)使角脱落日期较对照组推迟 13.5d。

3.2 不同光照处理对麋鹿角茸参数的影响

光照对重量增加的影响主要通过:刺激皮肤中的维生素 D 合成,参与钙和磷的吸收和代谢,调节骨骼的发育,但维生素 D 合成过多也可造成不利影响;光线暗淡时,会产生褪黑素,抑制食欲。本研究也表明在鹿角脱落前,进行持续的延长光照处理,可明显的使麋鹿角脱落延迟,持续缩短光照处理,可明显的使麋鹿角脱落提前;再生阶段持续的延长光照则可使鹿角生长加速,鹿茸增重加快,相反再生阶段缩短光照可使鹿茸生长减慢,持续短光照处理可影响鹿茸骨化,可导致鹿角生长变小,影响竞争繁殖。相关的分析也表明,鹿角增长的长度随光照延长而逐渐增加,其中延长光照 3h(10L:14D)可使角长度较对照组(8L:16D)增长 5.47cm,重量较对照组(8L:16D)平均增加 18.64g,延长光照 6h(12L:12D)可使角长度较对照组(8L:16D)增长 10.43cm,重量较对照组(8L:16D)平均增加 44.31g;缩短光照 2h(6L:18D)可使角长度较对照组(8L:16D)缩短 2.93cm,重量较对照组(8L:16D)平均减轻 9.81g。延长光照对麋鹿角切片重量的影响差异极显著,延长 3h 光照(10L:14D)

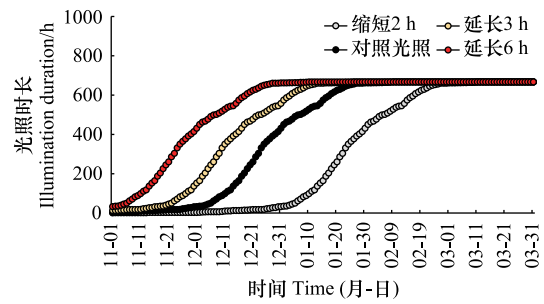


图 3 不同光照对麋鹿角再生/(cm/d)的影响

Fig.3 Cumulative light condition during the test period

表 5 不同光照处理的雄性麋鹿繁殖参数

Table 5 Reproductive parameters of male milu under different light treatments

指标 Index	缩短光照 2h Shortened light 2h group (6L:18D)	对照 Control group (8L:16D)	延长光照 3h Delayed light 3h group (10L:14D)	延长光照 6h Delayed light 6h group (12L:12D)
发情持续天数 The days of estrus lasting	4.5±0.5	6.8±0.8	7.2±0.9	9.6±1.1 **
交配机会 Mating opportunity/d	0.12±0.06	0.36±0.11	0.42±0.11 **	0.48±0.00 **
发情单元数 Estrus unit/d	22±5	196±12	208±15 *	233±14 **
发情总持续时间 Total duration of estrus/(min/d)	25.21±9.00	74.35±4.37	83.62±2.97 *	98.19±6.11 **
爬跨交配 Mating	频次/d	8.0±4.0	11.0±4.0	13.5±2.8 *
	用时/(min/d)	9.16±3.21	11.20±7.24	13.55±4.29 *
停歇时间 Interval time	5.40±0.57	2.91±0.81	2.91±0.81	3.18±0.67 *
查验母鹿发情 Check the doe in rut	频次/d	10.5±3.6	12.0±3.0	14.7±5.2
	用时/(min/d)	19.59±3.96	20.36±4.38	21.02±5.11
总吼叫 Total roaring	频次/d	85.22±10.11	125.67±18.87	134.33±10.26
	用时/(min/d)	30.19±6.55	31.15±2.59	33.45±3.27
维护领地 Protected territory	吼叫频次/d	60.0±33.0	66.0±26.0	69.0±58.0
	用时/(min/d)	4.36±3.12	5.41±2.52	5.69±2.14
圈群 Herd the female into group	吼叫频次/d	28.11±6.9	33.12±8.0	39.0±11.0
	用时/(min/d)	12.52±6.11	13.66±4.67	16.17±5.23
呵斥异性 Roaring female	吼叫频次/d	12.0±4.0	15.0±3.0	18.0±7.0
	用时/(min/d)	4.96±3.32	5.21±2.26	6.48±3.37
呵斥同类 Roaring male	吼叫/d	4.0±2.0	4.5±1.6	5.0±1.0
	用时/(min/d)	1.99±0.88	2.11±1.13	2.07±1.06
等级序位 Rank	Ω 序位	β 序位	w 序位	α 序位
产仔率 Farrowing rate	0.18	0.26	0.33	0.34

可使切片重量较对照组(8L:16D)增加 $\bar{x} = (0.1200 \pm 0.0318)$ g/片;延长 6h 光照(12L:12D)可使角切片重量较对照组(8L:16D)增加 $\bar{x} = (0.3133 \pm 0.0618)$ g/片;缩短 2h 光照组(6L:18D)切片重量较对照组(8L:16D)减轻 $\bar{x} = (0.1230 \pm 0.0561)$ g/片;因实验动物头数及采样限制,本实验今后将继续加强光照调控的麋鹿茸相关的分子机制与宏观关联方向的探索。

3.3 幼龄光照延长对成年繁殖的溢出关系

幼龄时期的光照延长可能会对成年雄性的繁殖产生一些影响。如光照延长可以促进幼龄雄性动物生殖腺的发育,刺激睾丸的增长和成熟,从而提高生精能力;幼龄时期的光照延长可能会影响成年雄性睾酮的分泌水平;光照延长对提高幼龄雄性动物的性行为活跃度和配偶选择能力,促进其对雌性的吸引和交配行为。本研究结果也表明,幼龄阶段的延长光照可明显增加成年雄性麋鹿的交配机会、延长爬跨时长与发情持续天数,增加查验母鹿发情、维护领地和圈群次数,提高交配成功率。

4 结论

麋鹿作为短日照的季节性繁殖动物,冬至解角,角脱落节律与光周期的关系极为密切,鹿茸生长速度与重量也与光的周期变化相关,幼龄阶段的持续延长光照可明显增加成年雄性麋鹿的交配机会、延长爬跨时长与发情持续天数,增加查验母鹿发情、维护领地和圈群次数,提高交配成功率。结果可为今后开展鹿角脱落多样化机制及新茸再生速度的相关分子机制筛选提供参考,为鹿茸产量的机理研究提供依据,可指导养鹿业鹿茸产量提高、茸鹿育种及野生鹿类保护工作。

参考文献 (References):

- [1] Clutton-Brock T H, Albon S D, Guinness F E. Fitness costs of gestation and lactation in wild mammals. *Nature*, 1989, 337(6204): 260-262.
- [2] Mysterud A, Bonenfant C, Loe L E, Langvatn R, Yoccoz N G, Stenseth N C. The timing of male reproductive effort relative to female ovulation in a capital breeder. *Journal of Animal Ecology*, 2008, 77(3): 469-477.
- [3] Freedman L J, Garcia M C, Ginther O J. Influence of photoperiod and ovaries on seasonal reproductive activity in mares. *Biology of Reproduction*, 1979, 20(3): 567-574.
- [4] Hassanin A, Delsuc F, Ropiquet A, Hammer C, Jansen van Vuuren B, Matthee C, Ruiz-Garcia M, Catzeflis F, Areskoug V, Nguyen T T, Couloux A. Pattern and timing of diversification of Cetartiodactyla (Mammalia, Laurasiatheria), as revealed by a comprehensive analysis of mitochondrial genomes. *Comptes Rendus Biologies*, 2012, 335(1): 32-50.
- [5] Goss R J. Photoperiodic control of antler cycles in Deer. V. Reversed seasons. *Journal of Experimental Zoology*, 1980, 211(1): 101-105.
- [6] Bowyer R T. Timing of parturition and lactation in southern mule Deer. *Journal of Mammalogy*, 1991, 72(1): 138-145.
- [7] Vidal F, Smith-Flueck J A M, Flueck W T, Bartoš L. Variation in reproduction of a temperate Deer, the southern *Pudu* (*Pudu puda*). *Animal Production Science*, 2012, 52(8): 735.
- [8] Peláez M, San Miguel A, Rodríguez-Vigal C, Perea R. Climate, female traits and population features as drivers of breeding timing in Mediterranean red Deer populations. *Integrative Zoology*, 2017, 12(5): 396-408.
- [9] Clements M N, Clutton-Brock T H, Albon S D, Pemberton J M, Kruuk L E B. Getting the timing right: antler growth phenology and sexual selection in a wild red Deer population. *Oecologia*, 2010, 164(2): 357-368.
- [10] Lin Z S, Chen L, Chen X Q, Zhong Y B, Yang Y, Xia W H, Liu C, Zhu W B, Wang H, Yan B Y, Yang Y F, Liu X, Kvie K S, Røed K H, Wang K, Xiao W H, Wei H J, Li G Y, Heller R, Qiu Q, Wang W, Li Z P. Biological adaptations in the Arctic cervid, the reindeer (*Rangifer tarandus*). *Science*, 2019, 364(6446): eaav6312.
- [11] Wang Y, Zhang C Z, Wang N N, Li Z P, Heller R, Liu R, Zhao Y, Han J G, Pan X Y, Zheng Z Q, Dai X Q, Chen C S, Dou M L, Peng S J, Chen X Q, Liu J, Li M, Wang K, Liu C, Lin Z S, Chen L, Hao F, Zhu W B, Song C C, Zhao C, Zheng C L, Wang J M, Hu S W, Li C Y, Yang H, Jiang L, Li G Y, Liu M J, Sonstegard T S, Zhang G J, Jiang Y, Wang W, Qiu Q. Genetic basis of ruminant headgear and rapid antler regeneration. *Science*, 2019, 364(6446): eaav6335.
- [12] 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. 麋鹿沧桑命运与未来保护展望. *生态学报*, 2022, 42(1): 1-10.
- [13] 孟庆辉, 宋苑, 单云芳, 李俊芳, 白加德, 孟秀祥, 柏超, 张成林. 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*, 2022, 42(2): 159-167.
- [14] 孟庆辉, 柏超, 宋苑, 单云芳, 李俊芳, 张树苗, 白加德, 钟震宇, 张成林, 孟秀祥. 重引入对麋鹿种群分娩定时及同步化的影响. *兽类学报*, 2022, 42(4): 379-386.
- [15] 李俊芳, 钟震宇, 郭子良, 胡巧立, 段建彬, 程志斌, 陈硕, 郭青云, 白加德, 孟庆辉. 迁地麋鹿对野鸭湖植被的保护性生物控制. *生态学报*, 2023, 43(18): 7715-7730.
- [16] 张树苗, 白加德, 刘艳菊, 李夷平, 陈硕, 孟庆辉, 张鹏寿, 胡德夫. 健康麋鹿生长激素测定与分析. *动物医学进展*, 2017, 38(8): 63-67.
- [17] 张树苗, 李夷平, 陈硕, 孟庆辉, 程志斌, 陈星, 白加德. 北京南海子麋鹿苑春季麋鹿粪样皮质醇激素变化及其指示作用. *野生动物学报*, 2021, 42(2): 522-527.
- [18] 李俊芳, 白冰, 孟庆辉, 程志斌, 单云芳, 刘田, 钟震宇. 基于 Illumina MiSeq 的麋鹿粪样菌群多样性分析. *野生动物学报*, 2023, 44(1): 98-105.
- [19] Chen L, Qiu Q, Jiang Y, Wang K, Lin Z S, Li Z P, Bibi F, Yang Y Z, Wang J H, Nie W H, Su W T, Liu G C, Li Q Y, Fu W W, Pan X Y, Liu C, Yang J, Zhang C Z, Yin Y, Wang Y, Zhao Y, Zhang C, Wang Z K, Qin Y L, Liu W, Wang B, Ren Y D, Zhang R, Zeng Y, da Fonseca R R, Wei B, Li R, Wan W T, Zhao R P, Zhu W B, Wang Y T, Duan S C, Gao Y, Zhang Y E, Chen C Y, Hvilsom C, Epps C W, Chemnick L G, Dong Y, Mirarab S, Siegmund H R, Ryder O A, Lewin H A, Zhang G J, Heller R, Wang W. Large-scale ruminant genome sequencing provides insights into their evolution and distinct traits. *Science*, 2019, 364(6446): eaav6202.
- [20] 鲍加荣, 李春义, 邢秀梅, 杨福合. 鹿茸再生及干细胞研究进展. *中国组织工程研究与临床康复*, 2008, 12(51): 10163-10166.
- [21] 李浩东, 周雅, 张禾垌, 郑军军, 刘琳玲, 巴恒星, 王桂武. 梅花鹿体重与体尺指标的相关及回归分析. *特产研究*, 2023, 45(2): 74-80.
- [22] 魏明立, 褚文辉, 赵海平, 李春义. 鹿茸干细胞与鹿茸再生. *特产研究*, 2011, 33(2): 47-51.
- [23] 李春义. 鹿茸完全再生机制研究进展. *农业生物技术学报*, 2017, 25(1): 1-10.
- [24] 胡太超, 刘玉敏, 陶荣珊, 苏凤艳, 张晶, 顾效瑜, 李庆杰, 王全凯. 鹿茸的化学成分及药理作用研究概述. *经济动物学报*, 2015, 19(3): 156-162.
- [25] 夏志强, 单云芳, 李俊芳, 张庆勋, 贺永惠, 崔艳红, 钟震宇, 柏超, 张成林, 白加德, 孟庆辉. 麋鹿角柄发育规律与相关内分泌及信号通路检测. *野生动物学报*, 2023, 44(3): 565-571.
- [26] 蒋志刚. 麋鹿行为谱及 PAE 编码系统. *兽类学报*, 2000, 20(1): 1-12.