



野生动物学报
Chinese Journal of Wildlife
ISSN 2310-1490, CN 23-1587/S

《野生动物学报》网络首发论文

题目：梅花鹿野化行为研究中最适行为采样的时间间隔
作者：邢燕，杨飞飞，张迎祥，孙一群，郑颖，王春莹，王亮，姜广顺
收稿日期：2024-04-17
网络首发日期：2024-12-23
引用格式：邢燕，杨飞飞，张迎祥，孙一群，郑颖，王春莹，王亮，姜广顺. 梅花鹿野化行为研究中最适行为采样的时间间隔[J/OL]. 野生动物学报.
<https://link.cnki.net/urlid/23.1587.s.20241223.1015.002>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

梅花鹿野化行为研究中最适行为采样的时间间隔

邢燕^{1#}, 杨飞飞^{1#}, 张迎祥², 孙一群²,
郑颖², 王春莹², 王亮³, 姜广顺^{1*}

- 东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 国家林业和草原局猫科动物研究中心, 哈尔滨, 150040;
- 黑龙江太平沟国家级自然保护区管理局, 鹤岗, 154200;
- 萝北县林木种苗和森林病防站, 鹤岗, 154299)

摘要 梅花鹿 (*Cervus nippon*) 是温带森林的重要有蹄类动物, 亦是东北虎 (*Panthera tigris altaica*) 捕食的主要猎物之一。黑龙江太平沟国家级自然保护区作为东北虎跨境廊道, 其野生梅花鹿种群在 20 世纪 80 年代已经野外灭绝, 在保护区内, 拟通过对圈养梅花鹿的行为野化, 促进梅花鹿野外种群的快速恢复。然而, 在行为研究过程中, 瞬时扫描取样法虽然被广泛运用, 但瞬时扫描具体采样间隔的科学性研究较少。因此, 本研究在 5、10、15、20、30、60 min 不同采样间隔内得到梅花鹿的不同行为持续时间, 使用线性回归的方法将不同行为持续时间进行两两比较, 利用 $R^2 \geq 0.9$ 、截距与 0 无显著差异 ($P > 0.05$)、斜率与 1 无显著差异 ($P > 0.05$) 3 个标准衡量采样间隔是否可以准确估计行为的持续时间, 进而确定最适采样间隔。结果表明: 运动行为最适采样间隔为 5 min, 休息、摄食、社会和其他 4 类行为的最适采样间隔为 10 min, 反刍、警戒和站立行为最适采样间隔为 15 min。本研究成果有助于确保行为数据收集的科学性, 提升数据收集的效率。

关键词: 梅花鹿行为; 瞬时扫描取样法; 最适采样间隔; 野化训练

中图分类号: Q958

收稿日期: 2024-04-17 **修回日期:** 2024-05-16

Time Interval for Optimal Behavior Sampling in the Study of Rewilding Behavior of Sika Deer

XING Yan^{1#}, YANG Feifei^{1#}, ZHANG Yingxiang², SUN Yiqun²,
ZHENG Ying², WANG Chunying², WANG Liang³, JIANG Guangshun^{1*}

- Feline Research Center of National Forestry and Grassland Administration, College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin, 150040, China;
- Heilongjiang Taipinggou National Nature Reserve Management Bureau, Hegang, 154200, China;
- Luobei County Forest Seedlings and Forest Disease Prevention Station, Hegang, 154299, China)

基金项目: 国家重点研发计划重点专项项目 (2023YFF1305000)

第一作者简介: 邢燕 (1996—), 女, 硕士研究生; 主要从事野生动物生态学研究。E-mail: 3042691974@qq.com

#共同第一作者: 邢燕; 杨飞飞

***通信作者:** 姜广顺, E-mail: jgshun@126.com

Abstract: Sika deer (*Cervus nippon*) is an important ungulate animal in temperate forests, and also one of the main prey for the Amur tiger (*Panthera tigris altaica*). The wild sika deer population of Heilongjiang Taipinggou National Nature Reserve, which serves as a cross-border corridor for the Amur tiger was extinct in the 1980s. It has been planned to promote the rapid recovery of the wild population of sika deer through the domestication of captive sika deer behavior within the reserve. However, the instantaneous scanning sampling method has been widely used in behavioral research, but there is relatively little scientific research on the specific sampling interval of instantaneous scanning. Therefore, the different behavioral durations of sika deer were obtained at different sampling intervals of 5 min and 10, 15, 20, 30, 60 min. The linear regression method was used to compare the different behavioral durations in pairs. The three criteria, $R^2 \geq 0.9$, intercept no significant difference from 0 ($P > 0.05$), and slope no significant difference from 1 ($P > 0.05$), were used to measure whether the sampling interval can accurately estimate the duration of the behavior, and then determine the optimal sampling interval. The results indicated that the optimal sampling interval for locomotive behavior was 5 min, the optimal sampling interval for resting, feeding, social, and miscellaneous behaviors was 10 min, and the optimal sampling interval for ruminating, vigilance and standing behavior was 15 min. The findings of the study help to ensure the scientific collection of behavioral data and improve the efficiency of data collection.

Keywords: Sika deer (*Cervus nippon*) behavior; Instantaneous scanning sampling method; Optimal sampling interval; Wild training

梅花鹿 (*Cervus nippon*) 属于哺乳纲 (Mammalia) 鲸偶蹄目 (Cetartiodactyla), 是一种中小型鹿类, 同时也是中国国家一级重点保护野生动物, 被列为濒危动物^[1]。它曾在中国境内广泛分布着 6 个亚种, 主要包括东北亚种 (*C. n. hortulorum*)、山西亚种 (*C. n. grassianus*)、华东亚种 (*C. n. kopschi*)、华北亚种 (*C. n. mandarinus*)、四川亚种 (*C. n. sichuanicus*)、台湾亚种 (*C. n. taiouanus*)^[2-3]。由于人为捕杀及栖息地环境破碎化, 1940 到 1950 年, 梅花鹿的部分野外种群已经灭绝, 目前中国只有东北亚种、四川亚种和华东亚种这 3 个亚种的野生梅花鹿存活于野外^[4]。梅花鹿是温带的重要有蹄类动物, 亦是东北虎 (*Panthera tigris altaica*) 捕食的重要猎物^[5]。黑龙江太平沟国家自然保护区是东北虎来往中国与俄罗斯的跨境廊道, 但当地的梅花鹿野外种群在 20 世纪 80 年代已经灭绝。自 2021 年开始黑龙江太平沟国家级自然保护区开始进行多批次的梅花鹿重引入, 期望利用重引入方法促进当地的梅花鹿野外种群快速恢复。当前梅花鹿在野化放归过程中有关行为研究主要包括: 圈养梅花鹿初夏昼间行为节律的研究^[6]; 在春季研究散放状态下, 不同性别梅花鹿在不同天气情况下的行为时间分配^[7]; 以及圈养与半散放梅花鹿行为节律的差异^[8]。在研究梅花鹿行为时, 多数研究者都利用瞬时扫描法 (instantaneous scan sampling) 收集行为数据^[7-8]。

瞬时扫描取样法是研究者在预先确定好的时间点对目标动物个体快速地扫描一遍, 记录动物行为模式的一种方法^[9-10]。在行为研究中, 这种方法被广泛地运用于记录动物的行为模式等^[11-12], 如采用瞬时扫描取样法对发情期间扬子鳄 (*Alligator sinensis*) 行为进行采样, 分析其昼间的行为时间分配及活动节律^[13]; 在青

海省都兰县沟里乡, 利用该方法对幼龄藏狐 (*Vulpes ferrilata*) 进行行为取样, 进而研究其行为节律^[14]; 在普氏野马 (*Equus przewalskii*) 行为节律及影响因子的研究中, 同样采用的是瞬时扫描取样法进行行为取样^[15]; 还有岩羊 (*Pseudois nayaur*)^[16-17]、蒙原羚 (*Procapra gutturosa*)^[18]、大斑啄木鸟 (*Dendrocopos major*)^[19]、亚成体大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*)^[20]、环尾狐猴 (*Lemur catta*)^[21]、雪豹 (*Panthera uncia*)^[22] 等动物行为的研究中都用到了瞬时扫描取样法。

为保证瞬时扫描法数据的准确性, 扫描时间间隔显得尤为重要, 上述对于不同动物的行为研究中, 采用瞬时扫描法都提到了取样间隔, 但大多数扫描间隔均是人为主观设定的, 没有对扫描间隔的科学性进行探讨, 有关扫描间隔的研究对象主要是饲养动物, 如羊^[23]、牛^[24]。在当下对野化放归的不同阶段的动物行为研究中, 使用瞬时扫描取样法时如何确认最适取样间隔往往是模糊不清的。基于此, 本研究利用重引入梅花鹿野化训练期间各阶段的监控视频数据对梅花鹿不同行为发生的最适取样间隔进行探究, 以处于野化训练中的梅花鹿为研究对象, 分析野化训练的连续 5 个时间阶段中梅花鹿不同行为类型发生的最佳取样间隔, 为利用瞬时扫描取样法进行数据收集时, 提供取样间隔的统计学依据, 提高数据收集的科学性。

1 研究区概况

本研究在黑龙江太平沟国家级自然保护区 (48°2'48"—48°20'19" N, 130°31'12"—130°50'11" E) 中进行。保护区地处黑龙江省萝北县北部, 与俄罗斯隔江相望, 范围呈狭长形, 属小兴安岭北坡低山丘陵地带, 最低海拔 72.6 m、最高海拔 556.7 m。保护区位于中温带大陆性季风气候区, 四季分明, 呈现出春季迟秋季早, 夏季时间短冬季时间长的特点。年平均气温 1 °C。平均年降水量 550 mm。内部河流纵横, 水资源丰富。主要分布植被类型包括以云杉 (*Picea asperata*)、冷杉 (*Abies fabri*) 和红松 (*Pinus koraiensis*) 为主的针叶林, 以红松、黄檗 (*Phellodendron amurense*)、水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*) 和胡桃楸 (*Juglans mandshurica*) 为主的针阔叶混交林, 以白桦 (*Betula platyphylla*)、山杨 (*Populus davidiana*) 和蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 为主的阔叶林和部分沼泽、湿地、草塘。保护区内分布有 319 种脊椎动物, 国家一级重点保护野生动物和国家二级保护野生动物共 40 种, 包括紫貂 (*Martes zibellina*)、猞猁 (*Lynx lynx*)、马鹿 (*Cervus elaphus*)、驼鹿 (*Alces alces*) 等^[25]。

2 研究方法

2.1 研究对象

对保护区内重引入梅花鹿 (3♂, 13♀) 进行野化训练的同时对其行为进行瞬时扫描取样, 行为取样时间为 2022 年 8—10 月。在重引入梅花鹿到保护区之前, 利用 DNA 检测, 确保所有梅花鹿均为纯种东北梅花鹿, 布氏杆菌病和口蹄疫 A 型及 O 型检测均为阴性。野化训练包括疫病隔离和野化训练两个时期, 其变化特点是空间变大和精饲料逐渐减少。疫病隔离期共 14 d, 在笼舍区和运动场进行; 野化训练共 56 d, 在野化训练区 (图 1) 进行, 每 14 d 作为一个阶段, 共 5 个阶段, 每阶段进行相应的饲喂, 所有阶段饲喂的

精饲料各成分比例均为玉米、麦麸、豆粕、预混饲料，3：1：1：0.2，饲喂技术指标见表1。

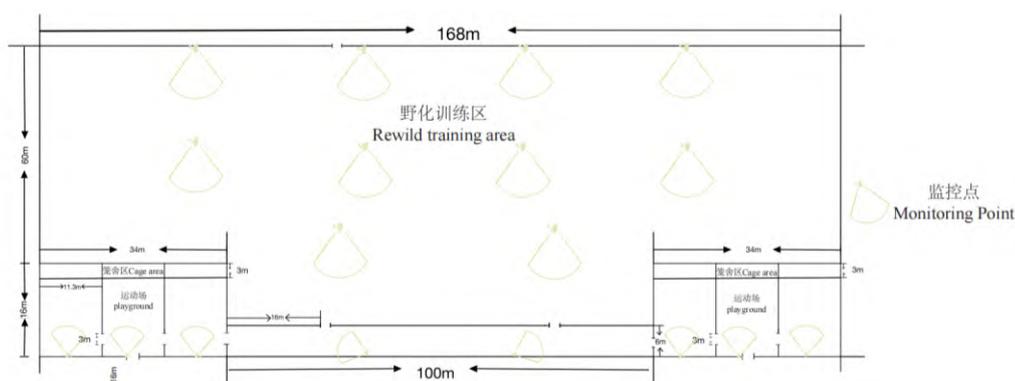


图1 野化训练基地示意图
Figure 1 Schematic diagram of the rewilding training base

表1 喂饲技术规则
Table 1 Feeding technical rules

时期 Period	时间/d Days	每天每只饲料总量/(g·只 ⁻¹) Total amount of feed per day for each	每天喂饲频次/(次·d ⁻¹) Frequency of feed per day
疫病隔离期 Epidemic quarantine period	14	1 000	2
野化训练期 Rewilding training period	0~14	1 000	2
	15~28	750	2
	29~42	500	2
	43~56	250	1

2.2 行为定义

记录行为时依据麋鹿 (*Elaphurus davidianus*)、四川梅花鹿等鹿科已有的行为谱行为，将记录的行为分为休息、摄食、反刍、运动、警戒、站立、社会、排遗和其他九大类，具体行为定义^[26-29]见表2。

表2 梅花鹿行为定义
Table 2 Definition of Sika deer behavior

行为类型 Behavior	定义 Definition
休息 Resting	梅花鹿躺卧在地面上，多以腹部着地，呈侧卧状态，身体不产生动作的行为，包括睁眼卧息和闭眼卧息
摄食 Ingestive	梅花鹿采食饲料、植物（包括植物的茎、叶）、饮水等行为
反刍 Ruminating	梅花鹿在非卧息时间内头高于背中线，上下唇协同动作，进行逆呕、咀嚼、吞咽等行为，在卧息时不考虑头与背中线的关系，主要有站立反刍和卧息反刍
运动 Locomotive	梅花鹿通过四肢的运动完成身体的位移，包括走动、奔跑和跳跃
警戒 Vigilance	梅花鹿头昂起，耳朵朝有异响或异样方向转动，四肢静止不动，情况危急时用力踏地，常持续若干分钟，其间可能会因发现威胁而发出警报
站立 Standing	梅花鹿呈静止站立姿势，头无明显抬高或压低，颈部不出现僵直状态，完全处于一种自然状态的行为
社会 Social	梅花鹿不同个体之间的交互行为，包括相互舔舐的友好行为、威胁和追击等冲突行为、擦额标记等通讯行为以及雌鹿、雄鹿发情繁殖行为等
排遗 Eliminate	梅花鹿在食物消化后排出食物残渣及尿液的行为
其他 Miscellaneous	梅花鹿为了求得舒适或生存而产生的一些频次较低的行为

2.3 数据采集与统计分析

疫病隔离期有 3 个摄像头可记录每天 24 h 的视频录像，野化训练期有 18 个摄像头，摄像头在野化训练基地的分布如图 1 所示。在空间变化和食物变化的 5 个阶段内各挑选 4 d 对梅花鹿的行为进行记录，所挑选的日期至少与空间和食物变化的日期间隔 2 d 以上，同时将人为干扰较多的日期排除在外。疫病隔离期取样 192 h，野化训练期取样 5 040 h。行为记录从每天的 00:00 开始，到 23:59 结束，采用瞬时扫描取样法每隔 5 min 扫描一次，记录观察到的所有梅花鹿行为的频次。由于需要对不同阶段梅花鹿的行为进行全天采集，视频图像质量和数据量较大，因此采用瞬时扫描取样法收集数据，选择 5 min 采样间隔作为比较标准。为了得到不同采样间隔下各行为在一天中的持续时间，从 5 min 采样间隔中提取出 10、15、20、30、60 min 共 5 种采样间隔的行为数据，分别计算行为持续时间。

利用 Microsoft Excel 2021 对所采集的行为数据进行整理，利用 IBM SPSS Statistics 25.0 对数据进行统计分析。每种行为的持续时间 $f(x)$ 计算公式为

$$f(x) = \left(\frac{A_1}{B_1} + \frac{A_2}{B_2} + \dots + \frac{A_N}{B_N} \right) \times M/60。$$

式中： $f(x)$ 表示一天中目标行为的持续时间，单位 h； A 为目标行为在某次采样中观察到的次数； B 为某次采样观察到的行为总次数； N 为某种采样间隔在一天中的第 N 次采样； M 为采样的时间间隔，单位 min。

计算 5 个野化训练阶段各行为某一采样间隔下在本野化训练阶段所有采样日期中的平均持续时间，排除离平均值大于等于 3 个标准差的采样日，因为本研究认为这些异常值的行为不代表更广泛的梅花鹿群体。利用 IBM SPSS Statistics 25.0，分别对 5 个野化训练阶段的某一行为平均持续时间数据进行线性回归分析，将各阶段 5 min 采样间隔得到的平均行为持续时间与其他采样间隔（10、15、20、30、60 min）的平均持续时间进行两两比较，计算决定系数（ R^2 ）均值。 R^2 可以衡量回归模型的拟合优度，越接近 1 说明线性回归模型拟合效果越好。如果满足 $R^2 \geq 0.9$ 、截距与 0 无显著差异（ $P > 0.05$ ）、斜率与 1 无显著差异（ $P > 0.05$ ）3 个标准，则认为该抽样间隔下的行为持续时间与 5 min 采样间隔下的行为持续时间结果一致^[23,30-31]。

3 结果

通过行为数据的统计与整理，计算出每天每种行为持续时间的均值及其标准差（表 3）。观察过程中，排遗行为发生较少，分析时将其纳入到其他行为中。表中样本数量是指统计各类行为的天数，各类行为持续时间均值是该行为在统计天数内持续时间的均值。

表 3 不同采样间隔下梅花鹿的行为持续时间
Table 3 Behavior duration of sika deer at different sampling intervals

行为类型 Behavior	样本数量/d Sample size	行为持续时间/h Duration of behavior					
		间隔 5 min 5	间隔 10 min 1	间隔 15 min 1	间隔 20 min 2	间隔 30 min 3	间隔 60 min 6
休息 Resting	20	9.28 ± 2.49	9.27 ± 2.50	9.26 ± 2.33	9.32 ± 2.59	9.28 ± 2.24	9.27 ± 2.43
摄食 Ingestive	20	7.58 ± 3.42	7.61 ± 3.48	7.56 ± 3.33	7.49 ± 3.53	7.63 ± 3.33	7.52 ± 3.48

反刍 Ruminating	20	1.81 ± 0.85	1.79 ± 0.84	1.89 ± 0.81	1.81 ± 0.84	1.75 ± 0.68	1.88 ± 0.68
运动 Locomotive	20	1.61 ± 0.45	1.62 ± 0.48	1.55 ± 0.51	1.62 ± 0.55	1.60 ± 0.60	1.60 ± 0.78
警戒 Vigilance	20	0.78 ± 0.37	0.82 ± 0.44	0.76 ± 0.33	0.81 ± 0.40	0.82 ± 0.45	0.77 ± 0.58
站立 Standing	20	1.63 ± 1.16	1.59 ± 1.19	1.65 ± 1.19	1.59 ± 1.20	1.63 ± 1.22	1.58 ± 1.29
社会 Social	19	0.25 ± 0.19	0.25 ± 0.15	0.23 ± 0.17	0.27 ± 0.18	0.20 ± 0.19	0.21 ± 0.23
其他 Miscellaneous	20	0.88 ± 0.60	0.89 ± 0.60	0.91 ± 0.66	0.87 ± 0.61	0.89 ± 0.65	0.87 ± 0.78

注：表中数据为平均值±标准差。

Note: The data in the table are Mean ± SD.

通过线性回归,与 5 min 采样间隔相比,10 min 和 15 min 采样间隔的休息、反刍和摄食的 R^2 都大于 0.9, 截距都与 0 无显著差异,斜率都与 1 无显著差异,符合所有判定条件,且休息行为和摄食行为在 10 min 时间间隔下更加准确,反刍行为在 15 min 时间间隔下更加准确。社会行为和其他行为在 10 min 的采样间隔下 R^2 均大于 0.9,截距都与 0 无显著差异,斜率都与 1 无显著差异,满足 3 个判定标准。警戒行为和站立行为在间隔 15 min 时满足所有标准,即 R^2 大于 0.9,截距与 0 无显著差异,斜率与 1 无显著差异,而运动行为无论何种间隔 R^2 都小于 0.9,不满足 R^2 标准(表 4)。

表 4 各行为不同采样间隔判定结果
Table 4 Determination results of different sampling intervals for each behavior

行为类型 Behavior	间隔 10 min			间隔 15 min			间隔 20 min			间隔 30 min			间隔 60 min		
	R^2	P_i	P_x												
休息 Resting	0.98*	0.99	0.92	0.95*	0.18	0.18	0.76	0.38	0.32	0.69	0.53	0.64	0.65	0.40	0.42
摄食 Ingestive	0.98*	0.58	0.46	0.91*	0.95	0.67	0.84	0.30	0.31	0.74	0.47	0.34	0.48	0.95	0.55
反刍 Ruminating	0.95*	0.36	0.36	0.98*	0.18	0.20	0.61	0.19	0.20	0.60	0.71	0.61	0.61	0.59	0.40
运动 Locomotive	0.87	<0.01	0.02	0.82	0.14	0.09	0.36	<0.0	<0.0	0.69	0.07	0.03	0.54	<0.0	<0.01
警戒 Vigilance	0.85	0.72	0.65	0.93*	0.21	0.16	0.73	0.35	0.29	0.74	0.28	0.21	0.61	0.10	0.04
站立 Standing	0.77	0.60	0.93	0.96*	0.79	0.92	0.69	0.98	0.81	0.60	0.22	0.36	0.42	0.12	0.08
社会 Social	0.94*	0.09	0.07	0.58	0.04	0.02	0.54	0.31	0.17	0.43	0.03	0.11	0.48	0.07	0.06
其他 Miscellaneous	0.93*	0.86	0.98	0.86	<0.01	0.02	0.78	0.74	0.88	0.80	0.12	0.03	0.61	0.06	<0.01

注: P_i , 截距与 0 的 P 值; P_x , 斜率与 1 的 P 值; *表示满足 3 个标准,即 $R^2 \geq 0.9$,截距与 0 无显著差异 ($P > 0.05$),斜率与 1 无显著差异 ($P > 0.05$),则认为此采样间隔下的本行为持续时间与 5 min 采样间隔下的行为持续时间结果一致。

Note: P_i , P value of intercept and 0; P_x , P value of slope and 1; * means that three criteria are met, that is, $R^2 \geq 0.9$, intercept was not different from 0 ($P > 0.05$), it is considered that the duration of the behavior under this sampling interval is consistent with the duration of the behavior under the 5-min sampling interval.

4 讨论

本研究的目的是利用线性回归分析,对梅花鹿不同采样间隔的行为持续时间与 5 min 采样间隔的行为持续时间进行比较,依据 $R^2 \geq 0.9$ 、截距与 0 无显著差异 ($P > 0.05$)、斜率与 1 无显著差异 ($P > 0.05$) 3 个标准,表明每种行为持续时间的准确性与偏差,确定每种行为最适的瞬时扫描采样间隔。

休息、反刍、摄食这 3 类行为在采样间隔为 10 min 和 15 min 时符合全部判定条件,且休息行为和摄食行为在 10 min 时间间隔下更加准确,反刍行为在 15 min 时间间隔下更加准确,社会、其他这两类行为仅在 10 min 采样间隔时符合全部标准,警戒行为和站立行为在 15 min 采样间隔下符合全部标准,除了运动行为,

上述 7 类行为在不同间隔扫描中至少有一个测试区间符合所有标准, 这可能是因为这 7 种行为组成了梅花鹿日常行为的主要部分, 其累积持续时间在梅花鹿的每日活动中占据较大比例, 符合瞬时扫描的特征^[32], 同时这 7 种行为符合的扫描间隔是 10 min 或 15 min, 这与养殖狐狸在短期观察内得到的最适采样间隔^[33]一致。综上所述, 梅花鹿的休息、摄食、社会和其他行为最适采样间隔为 10 min, 反刍、站立和警戒行为最适采样间隔为 15 min。本研究可以准确客观的反映出梅花鹿在野化过程中行为的特征以及最适的采样间隔。

运动行为, 无论是何种采样间隔与 5 min 采样间隔进行对比, 其决定系数 (R^2) 都不符合标准, 都小于 0.9。如果瞬时扫描取样法采样间隔的长度大于执行行为的时间长度, 那么在采样时间内估算行为的准确性将会大大降低^[34], 因此, 对于运动行为应该采取更小的采样间隔, 来提高行为的准确性, 因为本研究最小的取样间隔是 5 min, 所以用 5 min 取样间隔收集运动行为的数据将更加准确, 这与大多数梅花鹿行为研究中使用的采样间隔^[7,35-37]一致。

综上所述, 在梅花鹿野化训练期间研究休息、摄食、社会和其他行为时最适采样间隔为 10 min, 研究运动行为时 5 min 为最适采样间隔, 反刍行为、警戒行为和站立行为的最适采样间隔为 15 min。建议研究者根据研究对象的行为类别选择最适的采样间隔, 利用最适采样间隔收集行为数据, 既可以节省时间, 又可以确保数据的科学性。

致谢: 感谢黑龙江太平沟国家级自然保护区的工作人员对于本研究的支持。

参考文献:

- [1] 蒋志刚, 吴毅, 刘少英, 等. 中国生物多样性红色名录: 脊椎动物: 第 1 卷: 哺乳动物: 中册[M]. 北京: 科学出版社, 2021:6.
JIANG Z G, WU Y, LIU S Y, et al. China's red list of biodiversity: vertebrates: Vol. I : mammals: II [M]. Beijing: Science Press, 2021:6.
- [2] 郭延蜀, 郑惠珍. 中国梅花鹿地史分布、种和亚种的划分及演化历史 [J]. 兽类学报, 2000, 20(3): 168-179.
GUO Y S, ZHENG H Z. On the geological distribution, taxonomic status of species and evolutionary history of sika deer in China [J]. Acta Theriologica Sinica, 2000, 20(3): 168-179.
- [3] OHTAISHI N, GAO Y T. A review of the distribution of all species of deer (Tragulidae, Moschidae and Cervidae) in China [J]. Mammal Review, 1990, 20(2/3): 125-144.
- [4] 盛和林. 中国鹿科动物 [J]. 生物学通报, 1992(5): 4-7.
SHENG H L. Chinese Cervidae [J]. Bulletin of Biology, 1992(5): 4-7.
- [5] MILLER C S, HEBBLEWHITE M, PETRUNENKO Y K, et al. Estimating Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) kill rates and potential consumption rates using global positioning system collars [J]. Journal of Mammalogy, 2013, 94(4): 845-855.
- [6] 吕慎金, 杨燕, 刘宇庆, 等. 圈养条件下梅花鹿初夏昼间行为节律 [J]. 家畜生态学报, 2008, 29(1): 77-82.
LÜ S J, YANG Y, LIU Y Q, et al. Diurnal activity rhythm of house-hold sika deer during early summer [J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2008, 29(1): 77-82.

- [7] 刘振生, 吴建平, 滕丽微. 散放条件下春季梅花鹿行为时间分配的研究 [J]. 生态学杂志, 2002, 21(6): 29-32.
LIU Z S, WU J P, TENG L W. Time budget and behavior pattern of sem-free *Cervus nippon* in spring [J]. Chinese Journal of Ecology, 2002, 21(6): 29-32.
- [8] 吕慎金, 杨燕, 魏万红. 圈养与半散放条件下梅花鹿成年母鹿的行为节律比较 [J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(1): 86-89.
LÜ S J, YANG Y, WEI W H. Activity rhythm of mature female sika deer in captive and semi-free conditions [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 40(1): 86-89.
- [9] BERNSTEIN I S. An empirical comparison of focal and ad libitum scoring with commentary on instantaneous scans, all occurrence and one-zero techniques [J]. Animal Behaviour, 1991, 42(5): 721-728.
- [10] ALTMANN J. Observational study of behavior: sampling methods [J]. Behaviour, 1974, 49(3/4): 227-266.
- [11] HARROP A, DANIELS M. Methods of time sampling: a reappraisal of momentary time sampling and partial interval recording [J]. Journal of Applied Behavior Analysis, 1986, 19(1): 73-77.
- [12] ENGEL J. Choosing an appropriate sample interval for instantaneous sampling [J]. Behavioural Processes, 1996, 38(1): 11-17.
- [13] 鲁庆彬, 王小明, 丁由中, 等. 扬子鳄发情期昼间行为时间分配及活动节律 [J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(6): 608-613.
LU Q B, WANG X M, DING Y Z, et al. Diurnal time budget and activity rhythm of *Alligator sinensis* in the rutting season [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2006, 23(6): 608-613.
- [14] 刘群秀, 王小明, 王正寰. 青海省都兰县沟里乡幼龄藏狐昼间行为节律 [J]. 动物学杂志, 2009, 44(5): 128-132.
LIU Q X, WANG X M, WANG Z H. Diurnal rhythm of Tibetan fox pups in Gouli township, Dulan County, Qinghai [J]. Chinese Journal of Zoology, 2009, 44(5): 128-132.
- [15] 张峰. 普氏野马行为节律及其影响因子研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
ZHANG F. The study on behavior time budget and it's influential factors of Przewalski's horse (*Equus przewalkii*) [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [16] 刘国库, 周材权, 杨志松, 等. 竹巴笼矮岩羊昼间行为节律和时间分配 [J]. 生态学报, 2011, 31(4): 972-981.
LIU G K, ZHOU C Q, YANG Z S, et al. Diurnal activity rhythm and time budgets of the dwarf blue sheep (*Pseudois schaeferi*) in Zhubalong Nature Reserve [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(4): 972-981.
- [17] 董嘉鹏. 贺兰山岩羊不同性别昼间行为时间分配和活动节律研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
DONG J P. Daytime activity budgets and activity rhythms by blue sheep (*Pseudois nayaur*) with different sex classes in Helan Mountain [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2014.
- [18] 刘丙万, 钱执强. 内蒙古达赉湖地区蒙原羚昼间行为时间分配 [J]. 四川动物, 2011, 30(4): 629-632.
LIU B W, QIAN Z Q. Diurnal activities and time budget of *Procapra gutturosa* around Dalai Lake in Inner Mongolia [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2011, 30(4): 629-632.
- [19] 邢茂卓, 张志明, 田恒玖, 等. 笼养大斑啄木鸟行为时间分配和活动节律 [J]. 动物学杂志, 2013, 48(1): 95-101.
XING M Z, ZHANG Z M, TIAN H J, et al. Time budget and activity rhythm of captive great spotted woodpecker [J]. Chinese Journal of Zoology, 2013, 48(1): 95-101.
- [20] 袁耀华, 刘群秀, 夏菊兴. 圈养亚成体大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 春、夏季行为节律的研究 [J]. 野生动物, 2013, 34(5): 260-263.
YUAN Y H, LIU Q X, XIA J X. Behavior time budget of captive juvenile giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*) in spring and summer [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2013, 34(5): 260-263.

- [21] 郑金玲, 程鲲, 刘莹, 等. 食物和环境丰容对半散放环尾狐猴日行为活动的影响 [J]. 野生动物学报, 2020, 41(2): 288-295.
ZHENG J L, CHENG K, LIU Y, et al. Effects of food and environmental enrichment on the diurnal behaviors of half free-living ring-tailed lemurs (*Lemur catta*) [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2020, 41(2): 288-295.
- [22] 王亚萍, 马万浩, 孙武. 不同年龄阶段圈养雪豹昼间行为时间分配和行为节律观察 [J]. 青海畜牧兽医杂志, 2023, 53(2): 1-5, 55.
WANG Y P, MA W H, SUN W. Diurnal behaviors time budgets and activity rhythm of captive snowleopards (*Panthera uncia*) in different age stages [J]. Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2023, 53(2): 1-5, 55.
- [23] PULLIN A N, PAIRIS-GARCIA M D, CAMPBELL B J, et al. Technical note: Instantaneous sampling intervals validated from continuous video observation for behavioral recording of feedlot lambs [J]. Journal of Animal Science, 2017, 95(11): 4703-4707.
- [24] LEDGERWOOD D N, WINCKLER C, TUCKER C B. Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy cattle [J]. Journal of Dairy Science, 2010, 93(11): 5129-5139.
- [25] 杨飞飞. 太平沟保护区哺乳动物类群栖息地选择的互动研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021.
YANG F F. Study on interaction of habitat selection of mammals in Taipinggou Nature Reserve [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2021.
- [26] 蒋志刚. 麋鹿行为谱及 PAE 编码系统 [J]. 兽类学报, 2000, 20(1): 1-12.
JIANG Z G. Behavior coding and ethogram of the PAE David's deer [J]. Acta Theriologica Sinica, 2000, 20(1): 1-12.
- [27] 戚文华, 岳碧松, 宁继祖, 等. 四川梅花鹿的行为谱及 PAE 编码系统 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(2): 442-451.
QI W H, YUE B S, NING J Z, et al. Behavior ethogram and PAE coding system of *Cervus nippon sichuanicus* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(2): 442-451.
- [28] 马飞雁. 上海浦东新区獐重引入试点獐(*Hydropotes inermis*)的种群特征与行为学研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
MA F Y. Population characteristics and behavior of Chinese water deer (*Hydropotes inermis*) re-introduced to Pudong New Area, Shanghai [D]. Shanghai: East China Normal University, 2009.
- [29] 石全华. 长白山地东北虎猎物恢复:梅花鹿重引入适应性研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
SHI Q H. Prey recovery for Amur tiger in the Changbai Mountains: adaptability of sika deer reintroduction [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2016.
- [30] CHEN J M, SCHÜTZ K E, TUCKER C B. Technical note: comparison of instantaneous sampling and continuous observation of dairy cattle behavior in freestall housing [J]. Journal of Dairy Science, 2016, 99(10): 8341-8346.
- [31] PULLIN A N, PAIRIS-GARCIA M D, CAMPLER M R, et al. Validation of scan sampling techniques for behavioural observations of pastured lambs [J]. Animal Welfare, 2017, 26(2): 185-190.
- [32] MARTIN P, BATESON P. Measuring behaviour: an introductory guide [M]. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007:10-24;48-60.
- [33] JAUHAINEN L, KORHONEN H T. Optimal behaviour sampling and autocorrelation curve: modelling data of farmed foxes [J]. Acta Ethologica, 2005, 8(1): 13-21.
- [34] MILLER-CUSHON E K, DEVRIES T J. Technical note: validation of methodology for characterization of feeding behavior in dairy calves [J]. Journal of Dairy Science, 2011, 94(12): 6103-6110.
- [35] 吕慎金, 杨林, 杨燕, 等. 半散放梅花鹿昼间行为节律的初步研究 [J]. 生态科学, 2009, 28(5): 433-437.

LÜ S J, YANG L, YANG Y, et al. Research of diurnal activity rhythm of house-hold sika deer [J]. *Ecological Science*, 2009, 28(5): 433-437.

[36] LIU Z S, ZHOU X Y, TENG L W, et al. Behavioral ecology of sika deer in spring in semi-natural area [J]. *Journal of Forestry Research*, 2001, 12(3): 205-208.

[37] 胡刚, 张宪东, 张学军, 等. 昆明动物园圈养水鹿、梅花鹿的饲养及行为观察 [J]. *西北林学院学报*, 2002, 17(4): 73-76, 82.

HU G, ZHANG X D, ZHANG X J, et al. The preliminary study of the feeding management and behaviour of captive sambar and sika deer in Kunming Zoo [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2002, 17(4): 73-76, 82.

