

引用本文格式 杨智琦, 李欣怡, 曾妍, 等. 江苏大丰3个圈养幼龄麋鹿群的社会网络关系初探[J]. 现代畜牧科技, 2025, 53(3): 13-17. doi: 10.19369/j.cnki.2095-9737.2025.03.004. YANG Zhiqi, LI Xinyi, ZENG Yan, et al. A Preliminary Exploration of the Social Network Relationships in Three Captive Juvenile Pere David's Deer Groups[J]. Modern Animal Husbandry Science & Technology, 2025, 53(3): 13-17.

江苏大丰3个圈养幼龄麋鹿群的社会网络关系初探

杨智琦, 李欣怡, 曾妍, 赵雨梦, 汪开宝
(南京大学动物行为与保护实验室, 江苏 南京 210023)

摘要: 社会关系网络分析(SNA)不仅可以精确地描述并量化社会网络,而且可以从不同层面了解动物行为和社群结构,现已广泛应用于多个物种的行为生态学研究。该研究运用SNA的方法,在江苏大丰麋鹿国家级自然保护区研究了3群圈养幼龄麋鹿基于空间接近行为的社会关系网络。从个体和整体2个层面分析结果发现,麋鹿个体之间的接近行为并非随机,个体会有选择地接近或回避其他个体;3个群体的整体稳定性和凝聚力都较高,形成了稳定的群体结构。基于试验结果,该文提出了设置合理的群体结构,维持鹿群的稳定性;持续开展社会网络关系研究,探究其对繁殖成功率的影响等建议。本研究填补了麋鹿社会网络研究的空缺,为麋鹿行为学领域的研究提供了新的视角。

关键词: 社会网络分析; 性别; 社群结构

中图分类号: S825 **文献标识码:** A **doi:** 10.19369/j.cnki.2095-9737.2025.03.004

A Preliminary Exploration of the Social Network Relationships in Three Captive Juvenile Pere David's Deer Groups

YANG Zhiqi, LI Xinyi, ZENG Yan, ZHAO Yumeng, WANG Kaibao

(Lab of Animal Behavior and Conservation, School of Life Sciences, Nanjing University,
Nanjing Jiangsu 210023, China)

Abstract: Social Network Analysis (SNA) can not only accurately describe and quantify social networks but also provide insights into animal behavior and social structure across different levels, and has been widely applied in behavioral ecology research of numerous species. In this study, we employ SNA to investigate the spatial proximity-based social network of three captive juvenile Pere David's deer groups in the Jiangsu Dafeng Pere David's Deer National Nature Reserve. Analyses at both individual and group levels reveal that spatial proximity among individuals is non-random, with individuals selectively approaching or avoiding others. The results also indicate high stability and cohesion within each group, demonstrating a stable group structure. Based on these findings, we recommend establishing a reasonable group structure to maintain the stability of groups and encourage continuous research on social network relationship to explore its potential effects on reproductive success. This study adds to the knowledge of Pere David's deer's social network, provides new perspectives for the ethological research on this species.

Keywords: social network analysis (SNA), sex, social structure

0 引言

大量研究表明,社会性动物个体之间的交往不是随机出现的,而是反映了个体与环境的相互影响,并引起了群体水平的变化^[1-3]。如何描述个体的行为怎样适应环境或个体采取何种行为策略,如何衡量社群结构产生了何种变化,就需要研究动物的社群结构和关系网络。传

统的对动物社群的研究往往是间接地通过群体大小、数量、组成等来反映动物的社群关系^[4]。然而,动物个体间的社会关系和交互行为可以直接的反映个体的行为策略和引起群体的变化,因此需要用更直接的方法来描述和量化动物社群内的社会关系。

本研究以麋鹿个体为节点,个体间的空间接近行为

收稿日期: 2024-11-20

基金项目: 国家自然科学基金(32471564); 中国博士后面上项目(2021M691522)

作者简介: 杨智琦(1996-),女,吉林长春人,硕士,研究方向: 动物行为学。

为连结,建立3个麋鹿群基于空间接近行为的社会关系网络,以探究在个体层面,麋鹿个体的相互接近行为是否是随机的,麋鹿的社群关系有何特点;在群体层面,探究麋鹿群体整体的稳定性和凝聚力;性别因素的影响,分析不同群体的雌雄个体间是否存在差异且这种差异在不同群体中是否存在一致性。最后,基于研究结果提出麋鹿保护和繁育的相关建议。

1 相关概念解析

一个群体的社群结构,可以被定义为群体内个体之间社会关系的集合^[5]。社会关系网络分析是一种综合运用图论、数学模型,来研究个体与个体、个体与其所处社会关系网络、以及一个社会关系网络与另一社会关系网络之间关系的研究方法^[6]。一个社会关系网络由节点(node)和节点间的连结(edge)组成。其中,节点可以是个体、个体组成的亚群体、同种生物的群体等,连结代表节点间的关系(如相互接近、理毛、攻击关系等)^[7-9]。

麋鹿属于偶蹄目鹿科麋鹿属,是国家一级重点保护动物,也是世界自然保护联盟(IUCN)红皮书野外灭绝物种(EW)和中国哺乳类红色名录极危物种(CR)^[10]。由于人类活动和自然环境变化等原因,野生麋鹿已消失了100多年,仅有少量流失海外并得以保存^[11]。国内于1985年正式启动麋鹿重引进工作,经过多年繁殖扩群,形成了江苏大丰、湖北石首和湖南洞庭湖3个较大的野生麋鹿种群和全国各地近100处输出小种群^[11]。然而随着麋鹿种群数量的增长,栖息地空间的不足、过度采食引起的生境退化、疫病爆发、遗传多样性降低、迁地保护的小种群难以自我维持等问题在各地不同程度出现,影响了麋鹿种群的健康发展^[11]。对麋鹿社群的社会关系研究,不仅有助于了解麋鹿个体行为策略和如何适应栖息地环境,而且可以量化麋鹿群体水平的变化,以期科学地对麋鹿种群和栖息地进行规划和调整,为麋鹿的繁育和保护策略的制定提供重要参考。

社会群体中的个体在多元网络中与其他成员的互动,受到个体自身属性、同伴的属性和群体互动网络的影响,其中个体的年龄、性别、社会地位等属性,在众多群体的不同互动类型的网络中都有重要影响^[12-14]。一个群体内的个体间存在一系列的社会关系或社会行为,其中个体间的空间接近行为的研究对于理解社会结构很重要,因为动物更有可能与空间接近的个体进行互动^[15]。在许多已经被报道的有蹄类动物的社会关系研究中,在取样时期内,若一对动物个体被观察到在同一组中,就认为2个个体存在“关联”或相互接近的行为,通过对这种相互接近行为的次数或持续时间的观察,可以对这种“关联”进行加权^[16-18]。

2 材料与方法

2.1 研究地点

本次研究地点位于江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区(120° 42' ~ 120° 51' E, 32° 56' ~ 33° 36' N),地处亚热带与暖温带的过渡地带,气候受海洋性、大陆性双重气候影响,年平均温度14.5℃,春秋气候多变,夏季湿热多雨,冬季气温偏暖少雨,海拔2~4 m,地势平坦,属于平原盐渍沼泽^[19]。保护区内生境多样,包含大量林地、芦荡、沼泽地、盐裸地和森林草滩。

行为观测地点位于保护区试验区内的中华麋鹿园中,园内有多个圈养麋鹿的圈,用铁网和栅栏围起,平常只有饲养员可以进入,圈外紧挨步道,游客可以隔着围栏与麋鹿进行喂食等互动。研究地点即3群麋鹿生活的圈内,圈内生境包含草地、泥地、水塘、树丛等。

2.2 研究对象

选取上述保护区中华麋鹿园内的3群圈养幼龄(0.5~1.5龄)麋鹿为研究对象,其中,同群的麋鹿自出生以来便集群生活,年龄几乎相同且生活环境等外部条件一致,性别比例等于或接近1:1;不同群麋鹿的种群数量和年龄不同;研究期间群体结构稳定,没有个体出生死亡或迁入迁出。此时性别成为个体的重要特征。

3群麋鹿分别于2017、2018和2019年4月出生保护区的野外核心区域,出生当月即转移至圈内进行统一喂养,分别由25个(12只雄性和13只雌性)、28个(14只雄性和14只雌性)、11个(6只雄性和5只雌性)个体组成。它们的耳朵上有带有唯一数字编号的耳标。依据出生年份将3个麋鹿群命名为A群(出生于2017年,依此类推)、B群、C群。

2.3 研究方法

2.3.1 数据采集

空间接近行为指在空间上个体间相互靠近或距离较近的行为,每观察到2个麋鹿处于“同一组”中就记录为一次相互接近行为。通过对麋鹿行为的观察和其他相关研究的参考,本研究中将“同一组”定义为其中任意2个个体的距离通常不超过5 m,共同行动或休息,相邻的个体常伴有身体接触(如倚靠在一起,腿搭在对方身体上等)。

2018年5月23日—6月3日,每日9:00—16:00,每隔20~30 min,进入A群麋鹿生活的圈内进行取样,记录该群所有麋鹿的聚集情况,即形成了几组以及同一组内有哪些个体。

2019年4月20—30日以及2019年10月20日—11月1日,分别对B群麋鹿和C群麋鹿进行与2018年同样的取样操作。

对3群麋鹿进行正式的取样前,先对每群麋鹿进行

为了为期几天的观察，通过对耳标上数字和麋鹿体貌特征（体型大小、毛色、雄鹿的角形等）的观察，准确的识别所有的麋鹿个体，并赋予其与耳标上数字一致的编号。

在数据采集期间，每日上午9:00和下午16:00，饲养员对麋鹿进行投喂，此时所有麋鹿都聚集到一起进食，进食和进食后的一段时间内麋鹿几乎没有其他活动，也几乎不移动位置，因此喂食后的30~40 min，不进行取样。当麋鹿活动受到环境（如下大雨时，麋鹿几乎全部聚集到雨棚下躲雨）和人类活动（如较多游客进行投喂时，许多麋鹿靠近围栏抢食）等因素影响较大时，亦不进行取样。

2.3.2 数据分析

将记录的3群麋鹿的聚集情况分别进行整理，每记录到1次2只麋鹿处于“同一组”中，就增加1次这2只麋鹿基于接近关系的连结，最终得到每只麋鹿与自己同群的其他个体的连结次数，将这些连结次数分群体整理成3个矩阵的形式，并将矩阵导入UCINET软件计算出下述4个参数。

在个体层面，选取点度和特征向量中心度2个参数进行分析。节点程度（点度）是指一个节点与其他临近节点具有连结的数量总和^[6]，个体的点度可以描述其与周围个体在网络中的关系，点度越高，个体与其他个体的关系越频繁或强烈。中心度可以衡量个体是否处于网络的中心位置，其中特征向量中心度是指一个行动者在多大程度上居于其他2个行动者之间，可以表明个体在网络中的影响力^[6]，特征向量中心度越高，个体在网络中的影响力越高。在整体层面，选取群体密度和直径2个参数进行分析。群体密度（group density）是关系网内观察到的连结除以所有可能的连结^[6]，此时只计算连结的有无，而不考虑连结的强度，密度描述了网络中节点间的连结程度，群体密度越大，该群体就越稳定、越有凝聚力。直径是指群体从一个节点到另一个节点最长的路径长度^[6]，描述了群体中的信息传播速度，直径越短，群体内部凝聚力越强。

探究性别因素的影响：使用R语言软件分别对3群麋鹿的雄性和雌性个体的点度和特征向量中心度进行独立样本t检验，将显著水平设置为 $P=0.05$ 。使用SPSS软件，将“性别”作为固定因子，所在群体的“群名”作为随机因子，麋鹿的特征向量中心度作为因变量进行方差分析，将显著水平设置为 $P=0.05$ 。

3 结果

3.1 麋鹿个体在社会关系网络中的角色

统计并分析麋鹿基于相互接近行为的连结次数发现，麋鹿个体会频繁接近一些个体（数值高）而回避一些个体（数值低或为0）。可见麋鹿个体的相互接

近行为不是随机的，麋鹿会有选择地接近或回避其他个体。

使用UCINET软件计算麋鹿个体相关的社会关系网络参数得到的结果见表1。

表1 3个麋鹿群内个体的社会网络参数

| A群 | | | B群 | | | C群 | | |
|----|----|-------------------|----|----|-------------------|----|----|-------------------|
| 编号 | 性别 | 点度 特征向量 中心度 | 编号 | 性别 | 点度 特征向量 中心度 | 编号 | 性别 | 点度 特征向量 中心度 |
| 5 | 雄 | 138 0.102 | 1 | 雄 | 30 0.053 | 1 | 雄 | 143 0.345 |
| 6 | 雌 | 214 0.193 | 2 | 雌 | 109 0.243 | 2 | 雌 | 104 0.324 |
| 7 | 雄 | 308 0.278 | 3 | 雄 | 22 0.043 | 3 | 雄 | 132 0.322 |
| 8 | 雌 | 144 0.112 | 4 | 雌 | 85 0.207 | 5 | 雄 | 123 0.322 |
| 9 | 雄 | 332 0.299 | 5 | 雄 | 39 0.096 | 8 | 雌 | 126 0.319 |
| 10 | 雌 | 245 0.215 | 7 | 雌 | 125 0.302 | 9 | 雄 | 134 0.304 |
| 11 | 雄 | 272 0.239 | 8 | 雌 | 83 0.198 | 10 | 雌 | 135 0.299 |
| 12 | 雌 | 173 0.131 | 10 | 雌 | 88 0.204 | 12 | 雌 | 118 0.299 |
| 14 | 雌 | 163 0.135 | 11 | 雄 | 106 0.222 | 13 | 雄 | 132 0.293 |
| 17 | 雄 | 219 0.174 | 12 | 雌 | 78 0.187 | 17 | 雄 | 81 0.26 |
| 18 | 雌 | 118 0.108 | 13 | 雄 | 24 0.044 | 22 | 雌 | 120 0.205 |
| 19 | 雄 | 175 0.131 | 14 | 雌 | 104 0.251 | | | |
| 20 | 雌 | 260 0.231 | 15 | 雄 | 43 0.103 | | | |
| 21 | 雄 | 240 0.213 | 16 | 雌 | 70 0.172 | | | |
| 22 | 雌 | 96 0.059 | 17 | 雄 | 34 0.076 | | | |
| 23 | 雄 | 228 0.199 | 18 | 雌 | 84 0.197 | | | |
| 24 | 雌 | 140 0.104 | 19 | 雄 | 63 0.135 | | | |
| 26 | 雌 | 297 0.266 | 20 | 雌 | 111 0.263 | | | |
| 30 | 雌 | 238 0.214 | 21 | 雄 | 94 0.22 | | | |
| 31 | 雄 | 236 0.206 | 22 | 雌 | 111 0.263 | | | |
| 33 | 雄 | 230 0.208 | 25 | 雄 | 40 0.072 | | | |
| 34 | 雌 | 265 0.231 | 26 | 雌 | 108 0.261 | | | |
| 35 | 雄 | 263 0.246 | 27 | 雄 | 30 0.069 | | | |
| 39 | 雄 | 308 0.281 | 28 | 雌 | 81 0.186 | | | |
| 42 | 雌 | 186 0.166 | 29 | 雄 | 68 0.15 | | | |
| | | | 31 | 雄 | 77 0.189 | | | |
| | | | 33 | 雄 | 70 0.166 | | | |
| | | | 37 | 雌 | 115 0.274 | | | |

将表1中的信息导入UCINET软件中绘制社会关系网络图，如图1所示。从中发现，个体与其他个体的关系（线条的粗细和有无）以及个体的重要性（方形的大小）存在差异，进一步说明了麋鹿个体的相互接近行为不是随机的；3个群体中均不存在游离在外的个体（很少与其他个体关联且关联强度极低），即使是中心度较低的个体也与周围多个个体存在连结，说明整体的凝聚力较高；不同群体中雌雄个体的重要性有所区别，B群中雌性明显与其他个体的连结较多且有更高的中心度。

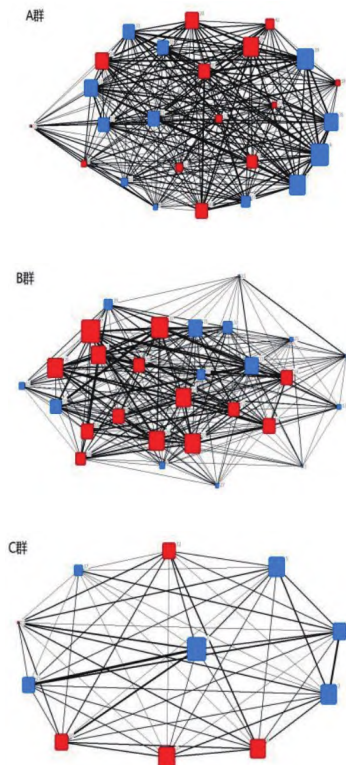


图1 3个麋鹿群内个体间接近关系的社会网络图

注：图中方形代表麋鹿个体；蓝色代表雄性，红色代表雌性；线条粗细代表连结的强度（点度）；方形大小代表个体特征向量中心度的大小。

3.2 麋鹿群体的整体分析

计算麋鹿群体密度和直径的结果如表2所示。3个群体的群体密度都较高，直径都较低，说明3个群体的稳定性和凝聚力都较高。其中个体数量最少的群体有最高的密度和最短的直径。

表2 3个麋鹿群内整体的社会网络参数

| 组别 | A群 | B群 | C群 |
|------|-------|-------|----|
| 群体密度 | 0.977 | 0.794 | 1 |
| 直径 | 2 | 2 | 1 |

3.3 性别因素的影响

使用独立样本 t 检验分别比较不同群中雌雄麋鹿个体的点度和特征向量中心度是否存在差异，麋鹿的群名、性别、点度和特征向量中心度见表1。A群雄性点度显著大于雌性，而雌雄的特征向量中心度没有显著差异（ $t_{23} = 2.118, P=0.045$ ； $t_{23} = 1.961, P=0.062$ ）；B群中雌性的点度和特征向量中心度均极显著高于雄性（ $t_{26}=-5.150, P<0.001$ ； $t_{26}=-5.580, P<0.001$ ）；C群雌雄麋鹿的点度和特征向量中心度均无显著差异（ $t_9 = 0.011, P=0.991$ ； $t_9 = 1.961, P=0.811$ ），即雌雄个体间的差异在不同群体中并未发现一致性。

使用方差分析的方法分析性别对个体在网络中的重要性的影响，麋鹿的群名、性别和特征向量中心度见表1。由于数据量较小，采用夏皮洛-威尔克检验，雌雄麋鹿的特征向量中心度符合正态分布（ $P>0.05$ ），莱文方差检验显示方差齐性（ $P=0.11$ ），“性别”的主效应和“群名”的主效应均不显著（ $F_{1,2}=0.075, P=0.810$ ； $F_{2,2}=1.398, P=0.417$ ），而“性别”与“群名”的交互效应极显著（ $F_{2,58}=15.298, P<0.01$ ），即在不同的群中性别因素对个体重要性的影响是不同的。

总而言之，3个群体中有相同的发现：麋鹿个体之间的接近行为并非随机，个体会选择地接近或回避其他个体；不存在孤立的个体；整体稳定性较高。3个群体间也存在差异：性别因素与群体的交互作用显著，性别因素的影响在不同群体中有所差别；个体数量最少的群体稳定性最高。

4 讨论

4.1 合理设置种群以形成稳定的群体

稳定的群体对动物的健康状况、福利情况和生殖产出等都有积极的影响，可以通过对圈养动物群体的合理设计来减少动物的社会压力，实现良好的动物福利^[20]。本研究中的3个麋鹿群体的稳定性、凝聚力都很高，且不存在孤立的个体，说明目前的群体结构是较为稳定且适宜的。在大丰保护区的保护和管理实践中，对麋鹿进行圈养或围栏散放时，可能会对麋鹿进行合笼或者分笼饲养，也可能会迁移至其他位置，产生空间大小等的改变，此时麋鹿群体的组成以及空间、资源的分配都可能发生变化，群体的稳定性可能也会随之改变，可以利用SNA对新形成的麋鹿群体进行分析，评价新形成的麋鹿群体结构是否合理，若新形成的麋鹿群体的群体稳定性过低或者出现了大量孤立的个体，则需要重新进行调整。

本研究中3个群体中均存在高点度、高中心度的个体，与其他多个个体有频繁的联系。在其他学者的研究中发现，一些个体在联系不同亚群体间起着桥梁作用，而有些重要或核心个体的移除可能导致群体的分裂^[15]。在重新规划麋鹿群体时要减少或避免移除高点度、高中心度的个体，以维持群体的稳定性。

4.2 利用SNA进一步研究以期影响整体繁殖成功率

高等有性繁殖动物的个体之间的相互作用通常是复杂的，并且对于成功繁殖至关重要^[21]，而社会性动物的早期经历会对其适应性和能否成功繁殖造成影响^[22]。对长尾侏儒鸟的交配行为研究中，雄性繁殖成功率与其目前的社会地位关系不大，而与其几年前的社交网络的中心度明显相关^[23]；对雀形目鸟类的研究中，经常在不同社会网络间移动的雄性比具有同等羽毛装饰的其他雄性有更高的繁殖成功率^[22]；对平原斑马的研究中，在基于攻击行为的社会关系网络中地位更高的母马有更多的存

活后代^[24]。本研究建立了3群麋鹿基于空间上的相互接近行为的社交网络,在研究期间3群麋鹿均未经历过繁殖期,即处于“早期”。可以继续追踪,探究这些麋鹿早期在社会关系网络中的位置和其繁殖成功率的关系,也可以使用SNA的研究方法研究其他的麋鹿群体或基于其他行为的社交网络。进而利用麋鹿早期在社交网络中的地位与其繁殖成功率的关系对麋鹿的群体结构进行调整,从而影响整体的繁殖成功率。

基于本次研究结果,建议合理设置种群以维持较高的整体稳定性,避免出现孤立的个体以及减少或避免重要个体的移除。通过SNA进行计算和评估,并依据麋鹿早期在社交网络中的地位与其繁殖成功率的关系对麋鹿的群体结构进行调整,从而影响整体的繁殖成功率。

参考文献

- [1] Croft D P, James R, Thomas P O R, et al. Social Structure and co-operative Interactions in a Wild Population of Guppies (*Poecilia reticulata*) [J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2006, 59 (5): 644-650.
- [2] Madden J R, Drewe J A, Pearce G P, et al. The social network structure of a wild meerkat population: 3. Position of individuals within networks[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2011, 65 (10): 1 857-1 871.
- [3] Lehmann J, Ross C. Baboon (*Papio anubis*) social complexity-a network approach[J]. American Journal of Primatology, 2011, 73 (8): 775-789.
- [4] Sih A, Hanser S F, Mchugh K A. Social Network Theory: New Insights and Issues for Behavioral Ecologists[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2009, 63 (7): 975-988.
- [5] Hinde R A. Interactions, relationships and social structure[J]. Man, 1976, 11 (1): 1-17.
- [6] 张鹏. 社会关系网络分析在行为生态学中的跨学科应用[J]. 动物学研究, 2013, 34 (6): 651-658.
- [7] Abell J, Kirzinger M W, Gordon Y, et al. A social network analysis of social cohesion in a constructed pride: implications for ex situ reintroduction of the African lion (*Panthera leo*) [J]. PloS one, 2013, 8 (12): e82 541.
- [8] Bercovitch F B. Peter M Kappeler, David P. Watts (eds.): Long-term field studies of primates[J]. Primates, 2012, 53 (4): 413-416.
- [9] Mccowan B, Anderson K, Heagarty A, et al. Utility of social network analysis for primate behavioral management and well-being[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2008, 109 (2-4): 396-405.
- [10] 王立波, 丁玉华, 魏吉祥. 大丰麋鹿种群增长抑制因素初步探讨[J]. 野生动物, 2009, 30 (6): 299-301.
- [11] 王立波, 姜慧, 安玉亭, 等. 中国麋鹿种群现状分析及保护对策探讨[J]. 野生动物学报, 2020, 41 (3): 806-813.
- [12] Sueur C, Petit O. Organization of Group Members at Departure Is Driven by Social Structure in Macaca[J]. International Journal of Primatology, 2008, 29 (4): 1 085-1 098.
- [13] Claudia K, Bernhard V. A social network analysis of primate groups[J]. Primates; Journal of Primatology, 2009, 50 (4): 343-356.
- [14] Carter K D, Brand R, Carter J K, et al. Social networks, long-term associations and age-related sociability of wild giraffes[J]. Animal Behaviour, 2013, 86 (5): 901-910.
- [15] Zhang P, Li B, Qi X, et al. A Proximity-Based Social Network of a Group of Sichuan Snub-Nosed Monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) [J]. International Journal of Primatology, 2012, 33 (5): 1-15.
- [16] Godde S, Cote S D, Reale D. Female mountain goats, *Oreamnos americanus*, associate according to kinship and reproductive status[J]. Animal Behaviour, 2015, 108: 101-107.
- [17] Wolf T E, Ngomo A N, Bennett N C, et al. Seasonal changes in social networks of giraffes[J]. Journal of Zoology, 2018, 305 (2): 82-87.
- [18] Stanley C R, Dunbar R. Consistent social structure and optimal clique size revealed by social network analysis of feral goats, *Capra hircus*[J]. Animal Behaviour, 2013, 85 (4): 771-779.
- [19] 刘金根, 薛建辉, 王磊, 等. 江苏大丰麋鹿自然保护区栖息地退化特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30 (8): 1 793-1 798.
- [20] Rose P, Croft D P. The potential of Social Network Analysis as a tool for the management of zoo animals[J]. Animal Welfare, 2015, 24 (2): 123-138.
- [21] Pizzari T, Gardner A. The sociobiology of sex: inclusive fitness consequences of inter-sexual interactions[J]. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 2012, 367 (1600): 2 314-2 323.
- [22] Oh K P, Badyeav A V. Structure of social networks in a passerine bird: consequences for sexual selection and the evolution of mating strategies[J]. The American Naturalist, 2010, 176 (3): E80-89.
- [23] Mcdonald D B. Predicting fate from early connectivity in a social network[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104 (26): 10 910-10 914.
- [24] Pluhacek J, Bartos L, Culik L. High-ranking mares of captive plains zebra *Equus burchelli* have greater reproductive success than low-ranking mares[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2005, 99 (3): 315-329.

编辑: 方雅琪