

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第10期 Vol.31 No.10 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 10 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

大熊猫取食竹笋期间的昼夜活动节律和强度·····	张晋东, Vanessa HULL, 黄金燕, 等 (2655)
高枝假木贼的胎生萌发特性及其生态适应·····	韩建欣, 魏 岩, 严 成, 等 (2662)
准噶尔盆地典型地段植物群落及其与环境因子的关系 ·····	赵从举, 康慕谊, 雷加强 (2669)
喀斯特山地典型植被恢复过程中表土孢粉与植被的关系·····	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 等 (2678)
青藏高原高寒草甸土壤 CO ₂ 排放对模拟氮沉降的早期响应·····	朱天鸿, 程淑兰, 方华军, 等 (2687)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤水分和植被空间格局·····	邱开阳, 谢应忠, 许冬梅, 等 (2697)
雪灾后粤北山地常绿阔叶林优势树种幼苗更新动态·····	区余端, 苏志尧, 解丹丹, 等 (2708)
四川盆地四种柏木林分类型的水文效应·····	龚固堂, 陈俊华, 黎燕琼, 等 (2716)
平茬对半干旱黄土丘陵区柠条林地土壤水分的影响·····	李耀林, 郭忠升 (2727)
连栽杉木林林下植被生物量动态格局·····	杨 超, 田大伦, 胡日利, 等 (2737)
近 48a 华北区太阳辐射量时空格局的变化特征·····	杨建堂, 刘 勤, 严昌荣, 等 (2748)
中型景观尺度下杨树人工林林分特征对树干病害发生的影响——以河南省清丰县为例·····	王 静, 崔令军, 梁 军, 等 (2757)
耕作措施对冬小麦田杂草生物多样性及产量的影响·····	田欣欣, 薄存瑶, 李 丽, 等 (2768)
官山保护区白颈长尾雉栖息地适宜性评价·····	陈俊豪, 黄晓凤, 鲁长虎, 等 (2776)
花椒园节肢动物群落特征与气象因子的关系·····	高 鑫, 张晓明, 杨 洁, 等 (2788)
沙漠前沿不同植被恢复模式的生态服务功能差异·····	周志强, 黎 明, 侯建国, 等 (2797)
大豆出苗期和苗期对盐胁迫的响应及耐盐指标评价·····	张海波, 崔继哲, 曹甜甜, 等 (2805)
不同耐盐植物根际土壤盐分的动态变化·····	董利苹, 曹 靖, 李先婷, 等 (2813)
短期 NaCl 胁迫对不同小麦品种幼苗 K ⁺ 吸收和 Na ⁺ 、K ⁺ 积累的影响 ·····	王晓冬, 王 成, 马智宏, 等 (2822)
套袋微域环境对富士苹果果皮结构的影响·····	郝燕燕, 赵旗峰, 刘群龙, 等 (2831)
畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响·····	李江涛, 钟晓兰, 赵其国 (2837)
土霉素胁迫下拟南芥基因组 DNA 甲基化的 MSAP 分析·····	杜亚琼, 王子成, 李 霞 (2846)
甲藻孢囊在长山群岛海域表层沉积物中的分布·····	邵魁双, 巩 宁, 杨 青, 等 (2854)
湖南省城市群生态网络构建与优化 ·····	尹海伟, 孔繁花, 祈 毅, 等 (2863)
基于多智能体与元胞自动机的上海城市扩展动态模拟 ·····	全 泉, 田光进, 沙默泉 (2875)
城市道路绿化带“微峡谷效应”及其对非机动车道污染物浓度的影响 ···	李 萍, 王 松, 王亚英, 等 (2888)
专论与综述	
北冰洋微型浮游生物分布及其多样性·····	郭超颖, 王桂忠, 张 芳, 等 (2897)
种子微生物生态学研究进展 ·····	邹媛媛, 刘 洋, 王建华, 等 (2906)
条件价值评估的有效性与可靠性改善——理论、方法与应用·····	蔡志坚, 杜丽永, 蒋 瞻 (2915)
问题讨论	
中国生态学期刊现状分析 ·····	刘天星, 孔红梅, 段 靖 (2924)
研究简报	
四季竹耐盐能力的季节性差异·····	顾大彤, 郭子武, 李迎春, 等 (2932)
新疆乌恰泉地震前后泉水细菌群落的变化·····	杨红梅, 欧提库尔·玛合木提, 曾 军, 等 (2940)
两种猎物对南方小花蝽种群增长的影响及其对二斑叶螨的控害潜能 ·····	黄增玉, 黄林茂, 黄寿山 (2947)
学术信息与动态	
全球变化下的国际水文学研究进展: 特点与启示 ——2011 年欧洲地球科学联合会会员大会述评·····	卫 伟, 陈利顶 (2953)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2011-05



封面图说: 藏酋猴 (*Macaca thibetana*) 属猴科 (*Cercopithecidae*) 猕猴属 (*Macaca*) 又名四川短尾猴、大青猴, 为我国特有灵长类之一, 被列为国家二级保护野生动物; 近年来, 由于人类活动加剧, 栖息环境恶化, 导致藏酋猴种群数量和分布日趋缩小; 本照片摄于四川卧龙国家级自然保护区 (拍摄时间: 2010 年 3 月)。

彩图提供: 中国科学院生态环境研究中心张晋东博士 E-mail: zhangjd224@163.com

大熊猫取食竹笋期间的昼夜活动节律和强度

张晋东^{1,2}, Vanessa HULL³, 黄金燕⁴, 周世强⁴, 李仁贵⁴, 刘 巖⁴,
黄 炎⁴, 李德生⁴, 徐卫华¹, 张和民⁴, 刘建国³, 欧阳志云^{1,*}

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 绵阳师范学院, 四川绵阳 621000;
3. Center For Systems Integration and Sustainability, Department of Fisheries and Wildlife, Michigan State University, East Lansing, MI, 48823, USA;
4. 中国保护大熊猫研究中心, 四川汶川 623006)

摘要:采用内置记录活动水平传感器的 GPS 项圈研究了卧龙自然保护区 3 只野生大熊猫春季取食竹笋期间的昼夜活动节律和强度,并分析了太阳辐射、温度因子对大熊猫活动节律与强度的影响。3 只大熊猫的平均活动率为 68.05%,受孕雌性大熊猫的活动率(70.86%)和活动强度(范围:0—255;水平方向/垂直方向,23.82±0.30/17.63±0.22)均比其它两只大熊猫(70.55%,14.71±0.17/13.52±0.15;62.76%,17.74±0.23/13.61±0.18)高。大熊猫有 3 次活动高峰,分别出现在 6:00—7:00,18:00—21:00 和 23:00—3:00,一个明显的活动低谷,出现在 9:00—12:00。大熊猫白天的活动率(68.32%)和活动强度(19.59±0.20/15.45±0.15)比夜间(67.67%,17.63±0.19/14.21±0.15)高。大熊猫的活动强度与太阳辐射之间存在显著负相关($r=-0.822$, $P<0.001$),与空气温度之间不存在显著的相关性。

关键词:大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*);GPS 项圈;活动强度;活动节律;卧龙自然保护区

Circadian activity pattern of giant pandas during the bamboo growing season

ZHANG Jindong^{1,2}, Vanessa HULL³, HUANG Jinyan⁴, ZHOU Shiqiang⁴, LI Rengui⁴, LIU Dian⁴, HUANG Yan⁴,
LI Desheng⁴, XU Weihua¹, ZHANG Hemin⁴, LIU Jianguo³, OUYANG Zhiyun^{1,*}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Mianyang Normal University, Mianyang, 621000, China

3 Center For Systems Integration and Sustainability, Department of Fisheries and Wildlife, Michigan State University, East Lansing, MI, 48823, USA

4 China Conservation and Research Center for the Giant Panda (CCRCGP), Wolong Nature Reserve, Sichuan 623006, China

Abstract: Circadian activity patterns of three giant pandas were monitored using GPS collars equipped with dual-axis activity sensors during the spring umbrella bamboo growing season in Wolong Nature Reserve. We summarized activity rate (% of time active) and level (horizontal direction/ vertical direction ranging from 0 to 255) across different times of day and across individuals and compared activity level to both solar radiation and air temperature. The results showed that the mean activity rate of the pandas was 68.05%. Activity rate (70.86%) and level of the pregnant panda (23.82±0.30/17.63±0.22) was higher than the other two (70.55%, 14.71±0.17/13.52±0.15 and 62.76%, 17.74±0.23/13.61±0.18). There were three activity peaks at 6:00—7:00, 18:00—21:00 and 23:00—3:00, and a marked rest period at 9:00—12:00. Activity rate (68.32%) and level during the day (19.59±0.20/15.45±0.15) was higher than in the night (67.67%, 17.63±0.19/14.21±0.15). The effect of solar radiation was significantly negatively and linearly related to the daily activity level of the study pandas ($r=-0.822$, $P<0.001$), however, the air temperature was not linearly related to circadian activity level.

基金项目:国家自然科学基金(40901289);国家重点基础研究发展计划资助项目(973 项目,2009CB421104);美国国家航天和宇宙航行局(NASA)资助项目;美国国家科学基金资助项目;大熊猫国际合作资金项目(SD0681)

收稿日期:2010-08-11; **修订日期:**2010-10-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

Key Words: Giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*); GPS collar; activity level; activity rhythm; Wolong Nature Reserve

受光周期的影响以及外界环境和动物内在生理机制的共同作用,大多数动物表现出一定的休息-活动节律,即昼夜活动节律,这是近代生物科学研究中一个十分活跃的领域^[1-2]。研究表明,活动节律与动物的代谢和能量摄入与支出密切相关,活动节律的研究有利于了解动物的生态行为策略,也可反映出动物个体的营养状态、生存压力以及社会地位等参数,对珍稀野生动物的保护管理措施制定有着重要的参考价值^[1-4]。

作为动物行为学的基础研究,针对很多野生动物的昼夜活动节律已开展相应的研究,如对小熊猫(*Ailurus fulgens*),矮岩羊(*Pseudois schaeferi*),马来熊(*Helarctos malayanus*),扭角羚(*Budorcas taxicolor tibetana*)等^[5-7]。研究手段主要分为两种,一种是传统瞬时扫描法,即近距离观察^[4,8],此类研究主要是针对生活在视野开阔区域、便于研究者观察的野生动物,此方法受天气、地形等因素的限制,存在观测数据不全的问题,近距离观察也会对动物行为产生不同程度影响。另一种是利用无线电遥测技术^[5-7,9-13],即利用小型的、可重装的变动脉冲传感器来研究动物的活动模式,较之直接的野外观察有很大进步,提高了记录动物活动行为的准确率^[14]。

随着野生动物遥感监测技术的发展,一些野生动物的研究者们开始应用更为精准先进的 GPS 项圈(Global Positioning System)进行野生动物的行为生态学研究^[15]。LoteK 公司发展了记录垂直和水平活动强度的传感器。传感器由一个容纳圆球的圆筒组成,项圈记录圆球在水平方向和垂直方向撞击圆筒的次数,由此确定动物在某一时刻的活动强度^[16]。研究表明,在明确定义活动和不活动状态的前提下,利用 GPS 项圈(型号:LoteK 2000)记录动物行为,其准确率达到 82% 以上^[17]。

作为世界野生动物保护的旗舰物种,大熊猫的保护备受世人关注,而作为大熊猫保护的基础研究,昼夜活动节律与强度研究一直是大熊猫野外生态学的重要组成部分。通过大熊猫的昼夜活动节律能了解其活动-休息时间的分配、不同生理时期的活动特征,分析大熊猫活动强度与环境因子的关系,有利于了解大熊猫对环境变化的适应机制,所以昼夜活动节律和强度的研究能为大熊猫保护策略制定提供重要的理论依据。然而由于大熊猫数量稀少,生存环境复杂,对人类活动极为敏感,所以关于大熊猫的活动节律等行为生态的研究较少,主要是在 20 世纪 80 年代胡锦矗、夏勒(Schaller)、潘文石等人分别在卧龙自然保护区和秦岭南坡利用无线电遥测技术对野外大熊猫的活动模式跟踪的研究^[9-11,13]。这些研究工作对于了解野外大熊猫的行为提供了基础资料,同时也为大熊猫的保护管理提供了重要参考。然而,受地形、天气等因素的影响,利用无线电遥测技术很难连续记录大熊猫的活动节律,而且该技术只能定性记录大熊猫是处于活动还是休息状态,尚不能定量比较大熊猫的昼夜活动的强弱程度,也不能明确地分析太阳辐射、温度等环境因子如何影响大熊猫的活动强度,关于大熊猫活动节律与强度,有待于进一步研究。

春季,卧龙自然保护区的大熊猫下移到低海拔分布的拐棍竹(*Fargesia robusta*)区域取食竹笋,是大熊猫交配繁殖、补充营养的关键时期,由于距人类活动区域更近,受人类活动干扰的强度更大^[9,18],在此期间,大熊猫的保护管理也更为重要。本文首次应用 GPS 项圈(型号:LoteK 4400_M)在卧龙自然保护区对 3 只野外大熊猫春季取食竹笋期间的昼夜活动节律与强度进行了研究,以期更深入、准确地了解大熊猫的昼夜活动节律,分析大熊猫的活动强度与太阳辐射、温度因子的关系,为制定大熊猫的保护管理方案提供理论基础。

1 研究方法

1.1 研究区域

四川卧龙国家级自然保护区(102°52′—103°24′E, 30°45′—31°25′N),1963 年建立,面积 2000km²,是我国建立最早的以保护大熊猫及森林生态系统为主的综合性自然保护区之一。

卧龙自然保护区地质构造属龙门山脉褶断带的中南段,地貌为四川盆地向川西高原过渡的高山峡谷地带,地势由东南向西北急剧递增,最高峰四姑娘山海拔 6250m,东西长 52km,南北宽 62km。

由于卧龙自然保护区地形的屏障,古冰川作用的规模和强度与邻区比较相对较弱,在海拔 3500m 以下受冰川影响较小,因此成了动植物的“避难所”。又由于地处横断山脉北部,是南北生物的“交换走廊”。加上气

候垂直变化明显,给种类繁多的生物繁衍创造了有利条件。本区植被类型多样,动植物种类繁多,保存了不少古老孑遗物种和特有物种。已发现植物 4000 多种,昆虫 1700 多种,脊椎动物 450 余种,其中兽类 109 种,鸟类 283 种。生态系统类型垂直分布,随着海拔升高,呈现出明显的山地自然垂直带谱。

核桃坪研究区域位于卧龙自然保护区东北角,毗邻皮条河,西北面以皮条河和省道 303 公路为界,西南方向是三村牧场,东北方向是老鸦山牧场,东南面由老鸦山河谷包围,海拔范围 1840—3200m,面积约为 25km² (图 1)。该区域主要生长有拐棍竹、冷箭竹(*Bashania faberi*)和短锥玉山竹(*Yushania brevipaniculata*),是卧龙自然保护区大熊猫主要分布区域之一^[9-10]。本区水源丰富,气候湿润,温凉多雨,生态系统呈现典型的垂直分布特点,沿着海拔梯度,主要分布有常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林、亚高山针叶林生态系统。在核桃坪区域,每年春季 4—6 月是拐棍竹主要发笋时期,由于拐棍竹笋粗大,生长发育快,营养丰富,成为大熊猫在发笋时期最主要的食物^[9-10]。

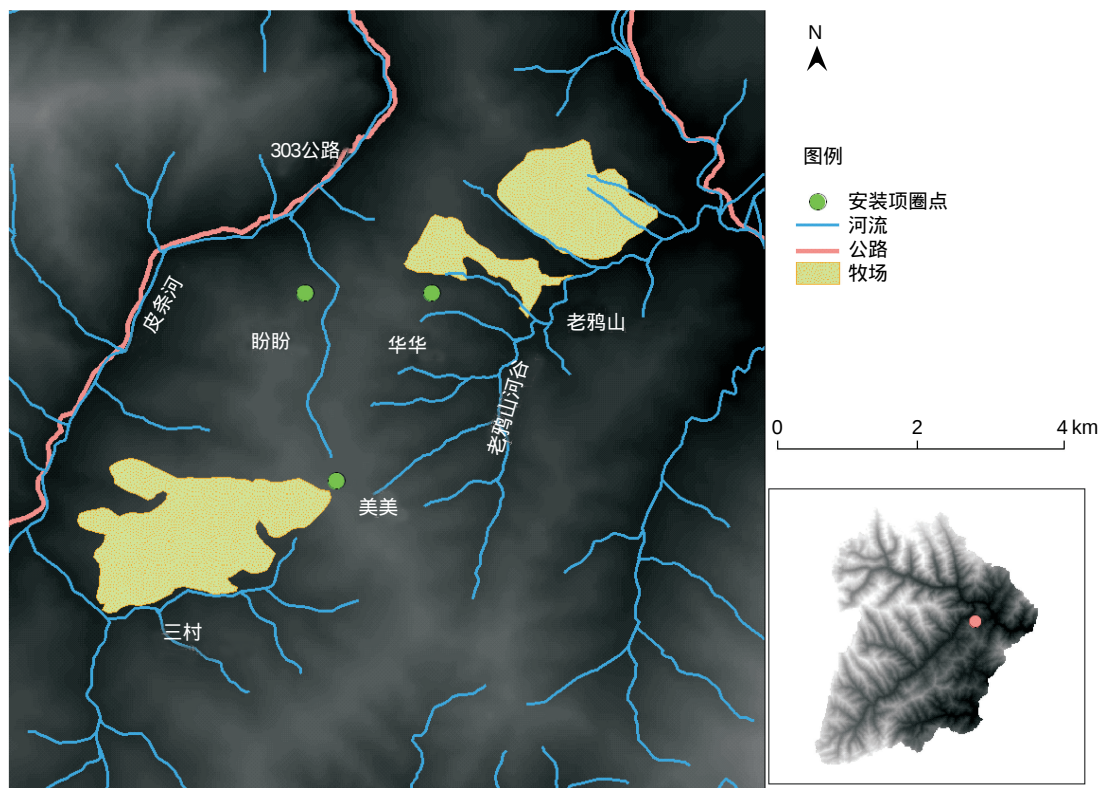


图 1 卧龙自然保护区核桃坪研究区域及为 3 只大熊猫安装 GPS 项圈的地点

Fig. 1 Hetaoping study area for wild giant panda GPS collar research in Wolong Nature Reserve, and the locations of 3 collared pandas

1.2 GPS 项圈及安装

应用 12 频道 Lotek _4400 M GPS 项圈 (Lotek Engineering Inc., Newmarket, Ont., Canada) 监测野外大熊猫活动。项圈大小为 120 mm×86 mm×126 mm,重量 1.2kg。这个系统主要由 3 个部分组成:GPS 项圈,一个手持的操作器 (HCU) 与 GPS 项圈联系获取数据,一个笔记本电脑储存数据^[15]。项圈安装了甚高频率 (VHF modem) 和超高频率 (UHF modem) 数据调制解调器,通过天线与卫星联通。系统安装了 Mini 脱落装置,当操作者激活该装置,项圈自动脱落^[15]。项圈能接受操作者设计好的工作时间表 (Schedule),操作者可根据实际需要进行设置。本研究 Lotek 4400_M GPS 项圈设计为每 2h 接收 1 次 GPS 数据,每 5min 获取 1 次水平活动、垂直活动数据,反应大熊猫活动强度的指标范围是 0—255 (0 表示没有活动,255 表示活动最强烈)。如果无意外情况,项圈在运行两年后自动从大熊猫身体上脱落。

2010 年 3 月末至 4 月初,在卧龙自然保护区核桃坪研究区域采用人工围捕的方法麻醉捕获 3 只野外大熊

猫(表1)。麻醉工作由中国保护大熊猫研究中心的专职兽医负责,麻醉药为氯胺酮(ketamine)。麻醉后,安装预先设计好时间表的GPS项圈。安装时既要牢固,同时项圈应松紧适度,确保大熊猫正常呼吸和取食。项圈安装后取下磁铁,GPS项圈开始运行。在距大熊猫100—200m处观察,发现10min左右大熊猫有苏醒迹象,其行为特征逐步恢复正常,然后自行离开。

表1 安装GPS项圈大熊猫的基本信息

Table 1 Information of collared pandas

名字 Name	项圈编号 Collar ID	信号频率 Frequency	年龄 Age	性别 Sex	安装日期 Capture date
美美 Mei Mei	1188	151.144	成体 Adult	雌性 Female	2010-03-29
华华 Hua Hua	0259	151.000	成体 Adult	雌性 Female	2010-04-05
盼盼 Pan Pan	1187	151.060	成体 Adult	—	2010-04-11

根据生殖器观察鉴定华华和美美为雌性,通过野外跟踪推断,3月底之前美美完成交配,本研究期间,美美已经受孕;尚不能确定盼盼性别,有待于通过DNA检测来鉴定

1.3 空气温度与太阳辐射监测

在中国保护大熊猫研究中心核桃坪研究基地内安装记录太阳辐射、空气温度的气象站(HOBO Micro Station),5月6—15日气象站每5min获取太阳辐射、空气温度数据,与GPS项圈记录的活动强度同步,此外在4月15—20日气象站每15min获取太阳辐射、空气温度数据。

1.4 数据收集与分析

自安装项圈开始,研究者基本每月两次下载GPS位点、活动数据,并应用GPS Plus软件将数据输出。本研究期间(2010年4月15日—5月15日)获得3只大熊猫水平与垂直活动数据分别25560个。

由于水平活动强度记录为0时,垂直活动强度记录基本为0,所以本研究中,有关活动强度与节律的分析以水平活动强度记录为标准。本研究中,某一时段的活动率为水平活动非0记录的出现频率。

利用Hawth's Analysis Tools for ArcGis工具^[19],计算3只大熊猫的每小时、日及研究期间总直线移动距离。采用Kolmogorov-Smirnov检验数据的正态性,根据数据分布特征,采用两独立样本Mann-Whitney U检验比较3只大熊猫的活动强度,采用Paired-Samples T检验比较3只大熊猫不同时间尺度上的直线移动距离,采用Independent-Samples T检验比较大熊猫白天与夜间的活动强度;采用Pearson相关分析水平与垂直活动强度的关系,利用气象站的太阳辐射与空气温度记录计算本研究期间每小时平均太阳辐射和平均温度,采用Pearson相关分析大熊猫昼夜活动强度与空气温度的关系,采用偏相关分析大熊猫白天活动强度与太阳辐射和空气温度之间的关系,数据统计分析均在SPSS 16.0软件进行。

2 结果

2.1 大熊猫的活动率、活动强度与移动距离

春季取食拐棍竹笋期间,3只大熊猫的昼夜平均活动率均在60%以上,受孕雌体美美的活动率最高,为70.86%,华华活动率次之,为70.55%,与这两只相比,另一只成体盼盼的活动率偏低,为62.76%。

Mann-Whitney U检验结果表明美美的活动强度明显高于其他两只大熊猫(美美 vs 华华, $Z = -18.913$, $P < 0.001$; 美美 vs 盼盼, $Z = -15.032$, $P < 0.001$),华华和盼盼之间的活动强度接近(华华 vs 盼盼, $Z = -2.407$, $P = 0.016$),美美的活动强度达到了GPS项圈所能记录的最大范围值255,而华华和盼盼最大活动强度都在170以下(表2)。

3只大熊猫4月15日到5月15日的总移动距离相差不大;日尺度上的移动距离,美美比华华($t = 4.232$, $df = 29$, $P < 0.01$)和盼盼($t = 2.12$, $df = 29$, $P < 0.05$)更远;在小时尺度上,美美的移动距离,也超过其他两只大熊猫,但差异不显著(表3)。

3只大熊猫白天的活动率(68.32%)和活动强度($19.59 \pm 0.20 / 15.45 \pm 0.15$)比夜间(67.67%, $17.63 \pm 0.19 / 14.21 \pm 0.15$)($t = 7.081$, $df = 24950$, $P < 0.001$ / $t = 5.9$, $df = 24690$, $P < 0.001$)高。

表 2 取食竹笋期间 3 只大熊猫的活动强度

Table 2 The activity levels of 3 pandas during the umbrella bamboo (*Fargesia robusta*) growing season

名字 Name	N	均值±标准误 Mean±SE		最大值 Maximum	
		水平活动 Horizontal	垂直活动 Vertical	水平活动 Horizontal	垂直活动 Vertical
美美 Mei Mei	8548	23.82±0.30	17.63±0.22	255	255
华华 Hua Hua	8510	14.71±0.17	13.52±0.15	131	137
盼盼 Pan Pan	8502	17.74±0.23	13.61±0.18	169	159

表 3 取食竹笋期间不同时间尺度上 3 只大熊猫的移动距离

Table 3 Distances moved by three pandas during the umbrella bamboo growing season at different temporal scales

名字 Name	总移动距离/m Total distance moved from 4.15 to 5.15	每日移动距离/m Distance moved/ day	每小时移动距离/m Distance moved/hour
美美 Mei Mei	1046	329±45	27±5
华华 Hua Hua	1019	140±23	20±2
盼盼 Pan Pan	949	197±34	22±2

2.2 大熊猫的活动强度与太阳辐射、空气温度之间的关系

大熊猫的水平活动与垂直活动强度之间存在着极显著的正相关($r:0.892-0.937, P<0.001$)。当水平活动记录为 0 时垂直活动记录基本为 0, 而且垂直记录不为 0 时 99% 以上的记录为个位数, 最大值为 17, 说明当水平活动强度记录为 0 时, 大熊猫基本处于休息状态, 偶尔改变休息姿势。

大熊猫昼夜活动强度与空气温度之间相关性不显著, 白天的太阳辐射与空气温度分别作为控制变量, 分析它们与大熊猫活动强度的关系, 偏相关分析结果为大熊猫活动强度与太阳辐射之间存在显著的负相关($r=-0.822, P<0.001$), 与空气温度之间相关性不显著。

2.3 大熊猫昼夜活动节律

大熊猫的活动强度与活动率波动周期基本一致, 在大熊猫活动强度较大的时段里, 活动率相应较高, 在休息的时段里, 活动强度值偏小。总体上, 3 只大熊猫表现出基本一致的休息-活动节律, 有 3 个活动高峰和 3 个活动低谷。活动高峰分别出现在黎明时分(6:00—7:00), 黄昏前后(18:00—21:00)和午夜前后(23:00—3:00)(图 2)。3 只大熊猫第 1 次活动高峰出现时段完全相同, 都出现在早晨 6:00—7:00; 第 2 次活动高峰并不相同, 其中盼盼出现在 18:00—19:00, 美美出现在 19:00—20:00, 华华出现在 20:00—21:00; 第 3 次活动高峰, 美美出现在 23:00—24:00, 盼盼出现在 0:00—1:00, 华华出现在 2:00—3:00。与活动高峰相对应, 3 只大熊猫第 1 次活动低谷均出现在黎明前 4:00—5:00; 最为明显的活动低谷出现在 9:00—12:00, 其中华华出现在 9:00—10:00, 盼盼和美美相继延后 1h; 此外在夜间也有一次活动低谷, 美美和盼盼出现在 21:00—22:00, 华华出现在 0:00—1:00(图 2)。3 只大熊猫出现活动高峰与低谷的时段并不完全相同, 如华华的夜间活动低谷与盼盼的活动高峰出现在同一时段即 0:00—1:00。但总体上, 3 只大熊猫表现出 3 个活动高峰与 3 个活动低谷交替出现的活动周期, 而黎明时分(6:00—7:00)和黄昏阶段(18:00—19:00)是大熊猫活动最频繁的时候, 平均活动率为 83.19%(图 2)。

3 讨论

长期以来, 由于每天 24h 跟踪动物的技术不完善, 很难做到长时间的连续监测, 传统行为生态学中, 多数研究集中于动物取食、饮水、休息、求偶、育幼等各种行为类型的时间分配上^[1]。在以往大熊猫行为活动的研究中, 利用无线电遥感技术, 每月只获得几天活动和休息的定性数据, 不能定量连续地监测整月的活动强度^[9-11, 13]。本研究首次利用 GPS 项圈技术连续地记录了 3 只大熊猫在春季取食拐棍竹笋期间的昼夜活动。研究结果表明: 受孕雌性大熊猫美美的活动强度更高, 活动高峰持续的时间更长, 日活动距离也明显大于华华和盼盼。这应该与大熊猫受孕后需补充营养, 增加食量有关, 圈养大熊猫配种受孕后, 食量比平时增加 1/4 至 1/3^[20], 野生雌性大熊猫在交配受孕后, 也应付出更多的时间和精力获取食物和水, 以满足妊娠期营养需

求^[9,18]。由此可见,发笋季节是大熊猫交配受孕后补充营养的关键时期,在拐棍竹分布区域,应该严禁打笋、挖药等人类干扰活动。

动物的昼夜活动节律作为一种复杂的生物学现象,是动物自身在长期的进化过程中对各种环境条件昼夜变化的综合性适应,其中包括对光、温度等非生物因素的适应^[2]。结合同步记录的太阳辐射数据,可以发现太阳辐射在一定程度上影响着大熊猫活动强度与节律,在白天,夜晚转为黎明(平均太阳辐射为 5.64 W/m^2)和黄昏转为夜晚(8.13 W/m^2)时段是大熊猫的活动高峰;光线较强(349.72 W/m^2)的中午前后是大熊猫最主要的休息时段(图2)。另一方面,在夜间,在没有外部时间线索的条件下(太阳辐射),大熊猫仍表现出的活动与休息交替的规律,说明大熊猫可能具备内源性的自运性节律^[2]。本研究中,气温与大熊猫的活动强度之间不存在显著的相关性,但是通过气象站记录的空气温度不能完全代表大熊猫生活的微生境温度,大熊猫如何适应环境温度变化,还需要进一步开展研究。

由于GPS项圈技术可以每5min不间断地获取研究对象的活动数据,能够更为真实准确地总结出所研究野生动物的昼夜活动节律^[17,21]。研究发现,一方面,大熊猫白天的活动率和活动强度高于夜间,最主要的两次活动高峰出现在黎明时分和黄昏前后,说明大熊猫具有晨昏活动模式动物的特征^[9],另外大熊猫存在3个波峰与3个波谷的交替出现的活动周期,在午夜前后还有一次活动高峰,大熊猫在午夜前后还有行走、摄食等活动,具有夜行性动物的特点,这也说明野生动物复杂的昼夜活动节律常需要两种或以上的活动模式结合来解释^[2]。3只大熊猫的活动率和活动节律均存在不同程度的差异,除了受孕等生理因素的影响之外,大熊猫性别、年龄等因素如何影响活动节律还需要基于更长时间的跟踪调查数据进行分析总结。

本次研究表明春季大熊猫平均活动率为68.05%,胡锦矗等人的研究结果是65%,两者比较接近,证实卧龙的大熊猫用更多的时间去完成摄食、饮水等活动^[9,22]。而潘文石等人研究结果表明,秦岭大熊猫呈现单峰曲线的昼夜活动节律,春季大熊猫的活动率为50%—60%^[13],卧龙和秦岭两地的大熊猫活动率和活动节律存在明显的差异,潘文石等认为卧龙、秦岭两地的大熊猫取食竹子的叶、茎和笋的时间分配比例不同,在一年中,卧龙大熊猫取食营养低的竹茎的时间长达5个月,而秦岭大熊猫在一年里主要取食营养丰富的竹叶和竹笋^[13]。为了从竹子上获得维持生存的足够能量,卧龙大熊猫每天需要投入更多的时间用来觅食。4月中旬至5月中旬,两地大熊猫都取食营养丰富的竹笋,仅通过取食竹子不同营养部位来说明两地大熊猫活动率和活动节律的差异显然是不全面的。与秦岭相比,卧龙地形更加复杂,坡度更大,大熊猫完成觅食、移动等活动需要付出更多能量,也应该是导致其活动率更高的原因之一。

致谢:卧龙自然保护区的李才武负责大熊猫的麻醉工作,邓林华参与部分野外工作,杨建,谭迎春对项目进行提出宝贵建议,在此一并致谢。

References:

- [1] Halle S, Stenseth N C. Activity Pattern in Small Mammals-An Ecological Approach. Berlin: Springer-Verlag, 2000: 3-17.
- [2] Sun R Y. Principles of Animal Ecology. Beijing: Beijing Normal University Press, 2001: 93-98.
- [3] Hudson R J, White R G. Bioenergetics of Wild Herbivores. Boca Raton: CRC Press, Inc, 1985.
- [4] Long S, Zhou C Q, Wang W K, Pan L, Hu J C. Diurnal behavioral rhythm, time budgets and group behavior of Dwarf Blue Sheep in summer. Zoological Research, 2009, 30(6): 687-693.
- [5] Han Z X, Hu J C, Yang J D. Daily activity rhythm of Red Pandas (*Ailurus fulgens*) in summer and autumn. Sichuan Journal of Zoology, 2006, 25(3): 597-602.

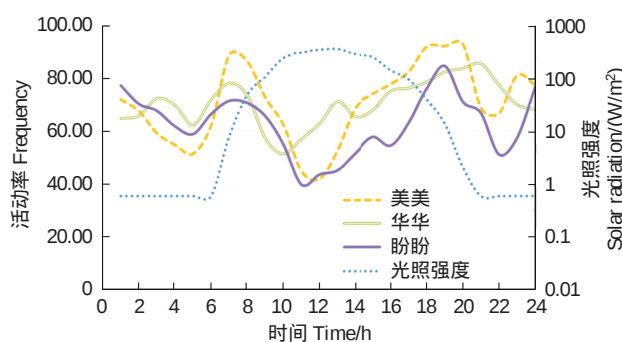


图2 取食竹笋期间大熊猫的昼夜活动节律

Fig. 2 The circadian activity pattern of 3 pandas during the umbrella bamboo growing season

- [6] Wong S T, Servheen C W, Ambu L. Home range, movement and activity patterns, and bedding sites of Malayan sun bears *Helarctos malayanus* in the Rainforest of Borneo. *Biological Conservation*, 2004, 119(2): 169-181.
- [7] Zeng Z G, Song Y L. Daily activity rhythm and time budget of Golden Takin in spring and summer. *Acta Theriologica Sinica*, 2001, 21(1): 7-13.
- [8] Zhou Q H, Wei H, Huang Z H, Li Y B, Lu M X, Huang C M. Activity pattern and time budgets of the Assamese macaque *Macaca assamensis* in the Longgang Nature Reserve, China. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53(5): 791-799.
- [9] Hu J C, Schaller G B, Pan W S, Zhu J. The Giant Pandas of Wolong. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 1985.
- [10] Schaller G B, Hu J C, Pan W S, Zhu J. The Giant Pandas of Wolong. Chicago: University of Chicago Press, 1985.
- [11] Hu J C. Daily activity rhythm of Giant Pandas. *Acta Theriologica Sinica*, 1987, 7(4): 241-245.
- [12] Beier P, McCullough D R. Motion-sensitive radio collars for estimating white-tailed deer activity. *The Journal of Wildlife Management*, 1988, 52(1): 11-13.
- [13] Pan W S, Lu Z, Zhu X J, Wang D J, Wang H, Long Y, Fu D L, Zhou X. A Chance for Lasting Survival. Beijing: Beijing University Press, 2001.
- [14] Garshelis D L. Delusions in habitat evaluation: measuring use, selection, and importance//Boitani L, Fuller T K, eds. *Research Techniques in Animal Ecology: Controversies and Consequences*. New York: Columbia University Press, 2000: 111-164.
- [15] Moen R, Pastor J, Cohen Y, Schwartz C C. Effects of moose movement and habitat use on GPS collar performance. *The Journal of Wildlife Management*, 1996, 60(3): 659-668.
- [16] Lotek Engineering Inc. GPS Collar User's Manual. Newmarket: Lotek Engineering Inc, 1994.
- [17] Coulombe M L, Massé A, Côté S D. Quantification and accuracy of activity data measured with VHF and GPS telemetry. *Wildlife Society Bulletin*, 2006, 34(1): 81-92.
- [18] Zhou S Q, Zhang H M, Li D S. Conservation and management strategies of habitats based on the foraging behavior of Giant Pandas. *Sichuan Journal of Zoology*, 2010, 29(3): 340-345.
- [19] Beyer H L. Hawth's analysis tools for ArcGIS. 2004. [2011-3-8]. <http://www.spatialecology.com/htools/index.php>.
- [20] Huang X M, Yu J Q, Liu X Z, Li G H, Yang Z, Li X B, Li M X. Observation on behaviors associated with gestation and parturition in Giant Pandas. *Sichuan Journal of Zoology*, 1999, 18(4): 179-181.
- [21] White G C, Garrott R A. *Analysis of Wildlife Radio-Tracking Data*. San Diego: Academic Press, 1990.
- [22] Hu J C. *Research on the Giant Panda*. Shanghai: Shanghai Technology and Education Press, 2001: 126-136.

参考文献:

- [2] 孙儒泳. 动物生态学原理 (第三版). 北京: 北京师范大学出版社, 2001: 93-98.
- [4] 龙帅, 周材权, 王维奎, 潘立, 胡锦矗. 矮岩羊夏季活动节律、时间分配和集群行为. *动物学研究*, 2009, 30(6): 687-693.
- [5] 韩宗先, 胡锦矗, 杨建东. 小熊猫夏秋季的昼夜活动节律. *四川动物*, 2006, 25(3): 597-602.
- [7] 曾治高, 宋延龄. 秦岭羚牛春夏季昼夜活动节律与时间分配. *兽类学报*, 2001, 21(1): 7-13.
- [8] 周岐海, 韦华, 黄中豪, 李友邦, 陆茂新, 黄乘明. 弄岗熊猴的活动节律和活动时间分配. *动物学报*, 2007, 53(5): 791-799.
- [9] 胡锦矗, 乔治·夏勒, 潘文石, 朱靖. 卧龙的大熊猫. 成都: 四川科学技术出版社, 1985.
- [11] 胡锦矗. 大熊猫的昼夜活动节律. *兽类学报*, 1987, 7(4): 241-245.
- [13] 潘文石, 吕植, 朱小健, 王大军, 王昊, 龙玉, 付达莉, 周欣. 继续生存的机会. 北京: 北京大学出版社, 2001.
- [18] 周世强, 张和民, 李德生. 大熊猫觅食行为的栖息地管理策略. *四川动物*, 2010, 29(3): 340-345.
- [20] 黄祥明, 余建秋, 刘选珍, 李光汉, 杨智, 李学兵, 李明喜. 大熊猫妊娠及产仔行为观察. *四川动物*, 1999, 18(4): 179-181.
- [22] 胡锦矗. 大熊猫研究. 上海: 上海科技教育出版社, 2001: 126-136.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 10 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Circadian activity pattern of giant pandas during the bamboo growing season	2655
..... ZHANG Jindong, Vanessa HULL, HUANG Jinyan, et al	
The vivipary characteristic of <i>Anabasis elatior</i> and its ecological adaptation	2662
..... HAN Jianxin, WEI Yan, YAN Cheng, et al	
Relationships between plant community characteristics and environmental factors in the typical profiles from Dzungaria Basin	2669
..... ZHAO Congju, KANG Muyi, LEI Jiaqiang	
The relationship between pollen assemblage in topsoil and vegetation in karst mountain during different restoration period of typical vegetation community	2678
..... HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyong, et al	
Early responses of soil CO ₂ emission to simulating atmospheric nitrogen deposition in an alpine meadow on the Qinghai Tibetan Plateau	2687
..... ZHU Tianhong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al	
Spatial pattern of soil moisture and vegetation attributes along the critical area of desertification in Southern Mu Us Sandy Land	2697
..... QIU Kaiyang, XIE Yingzhong, XU Dongmei, et al	
Dynamics of dominant tree seedlings in montane evergreen broadleaved forest following a snow disaster in North Guangdong	2708
..... OU Yudian, SU Zhiyao, XIE Dandan, et al	
A comparative analysis of the hydrological effects of the four cypress stand types in Sichuan Basin	2716
..... GONG Gutang, CHEN Junhua, LI Yanqiong, et al	
Effect of cutting management on soil moisture in semi-arid Loess Hilly region	2727
..... LI Yaolin, GUO Zhongsheng	
Dynamics of understory vegetation biomass in successive rotations of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) plantations	2737
..... YANG Chao, TIAN Dalun, HU Yueli, et al	
Spatial and temporal variation of solar radiation in recent 48 years in North China	2748
..... YANG Jianying, LIU Qin, YAN Changrong, et al	
Impact of stand features of short-rotation poplar plantations on canker disease incidence at a mesoscale landscape: a case study in Qingfeng County, Henan Province, China	2757
..... WANG Jing, CUI Lingjun, LIANG Jun, et al	
Effects of different soil tillage systems on weed biodiversity and wheat yield in winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) field	2768
..... TIAN Xinxin, BO Cunyao, LI Li, et al	
Habitat suitability evaluation of Elliot's pheasant (<i>Syrnaticus ellioti</i>) in Guanshan Nature Reserve	2776
..... CHEN Junhao, HUANG Xiaofeng, LU Changhu, et al	
Relationships between arthropod community characteristic and meteorological factors in <i>Zanthoxylum bungeanum</i> gardens	2788
..... GAO Xin, ZHANG Xiaoming, YANG Jie, et al	
The differences of ecosystem services between vegetation restoration models at desert front	2797
..... ZHOU Zhiqiang, LI Ming, HOU Jianguo, et al	
Response to salt stresses and assessment of salt tolerability of soybean varieties in emergence and seedling stages	2805
..... ZHANG Haibo, CUI Jizhe, CAO Tiantian, et al	
Dynamic change of salt contents in rhizosphere soil of salt-tolerant plants	2813
..... DONG Liping, CAO Jing, LI Xianting, et al	
Effect of short-term salt stress on the absorption of K ⁺ and accumulation of Na ⁺ , K ⁺ in seedlings of different wheat varieties	2822
..... WANG Xiaodong, WANG Cheng, MA Zhihong, et al	
Effects of the micro-environment inside fruit bags on the structure of fruit peel in 'Fuji' apple	2831
..... HAO Yanyan, ZHAO Qifeng, LIU Qunlong, et al	
Enhancement of soil quality in a rice-wheat rotation after long-term application of poultry litter and livestock manure	2837
..... LI Jiangtao, ZHONG Xiaolan, ZHAO Qiguo	
MSAP analysis of DNA methylation in <i>Arabidopsis</i> (<i>Arabidopsis thaliana</i>) under Oxytetracycline Stress	2846
..... DU Yaqiong, WANG Zicheng, LI Xia	
Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from Changshan Archipelago in the North Yellow Sea	2854
..... SHAO Kuishuang, GONG Ning, YANG Qing, et al	
Developing and optimizing ecological networks in urban agglomeration of Hunan Province, China	2863
..... YIN Haiwei, KONG Fanhua, QI Yi, et al	
Dynamic simulation of Shanghai urban expansion based on multi-agent system and cellular automata models	2875
..... QUAN Quan, TIAN Guangjin, SHA Moquan	
"Micro-canyon effect" of city road green belt and its effect on the pollutant concentration above roads for non-motorized vehicles	2888
..... LI Ping, WANG Song, WANG Yaying, et al	
Review and Monograph	
The abundance and diversity of nanoplankton in Arctic Ocean	2897
..... GUO Chaoying, WANG Guizhong, ZHANG Fang, et al	
Advances in plant seed-associated microbial ecology	2906
..... ZOU Yuanyuan, LIU Yang, WANG Jianhua, et al	
Improving validity and reliability of contingent valuation method through reducing biases and errors: theory, method and application	2915
..... CAI Zhijian, DU Liyong, JIANG Zhan	
Discussion	
The analysis of Chinese ecological academic journals	2924
..... LIU Tianxing, KONG Hongmei, DUAN Jing	
Scientific Note	
Seasonal variations in salt tolerance of <i>Oligostachyum lubricum</i>	2932
..... GU Daxing, GUO Ziwu, LI Yingchun, et al	
Variation of a spring bacterial community from Wuqia Sinter in Xinjiang during the pre- and post-earthquake period	2940
..... YANG Hongmei, OTKUR Mahmut, ZENG Jun, et al	
Comparison of the effect of two prey species on the population growth of <i>Orius similis</i> Zheng and the implications for the control of <i>Tetranychus urticae</i> Koch	2947
..... HUANG Zengyu, HUANG Linmao, HUANG Shoushan	

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 10 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 10 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元