

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

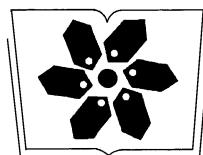
## Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 10 期 Vol.32 No.10 2012

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 (SHENTAI XUEBAO)

第32卷 第10期 2012年5月 (半月刊)

## 目 次

基于系统动力学的城市住区形态变迁对城市代谢效率的影响.....	李旋旗,花利忠 (2965)
居住-就业距离对交通碳排放的影响 .....	童抗抗,马克明 (2975)
经济学视角下的流域生态补偿制度——基于一个污染赔偿的算例 .....	刘 涛,吴 钢,付 晓 (2985)
旅游开发对上海滨海湿地植被的影响.....	刘世栋,高 峻 (2992)
汶川地震对大熊猫主食竹——拐棍竹竹笋生长发育的影响.....	廖丽欢,徐 雨,冉江洪,等 (3001)
江西省森林碳蓄积过程及碳源/汇的时空格局.....	黄 麟,邵全琴,刘纪远 (3010)
伊洛河流域草本植物群落物种多样性.....	陈 杰,郭屹立,卢训令,等 (3021)
新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性.....	顾美英,徐万里,茆 军,等 (3031)
荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性.....	贺学礼,陈 耘,郭辉娟,等 (3041)
彰武松、樟子松光合生产与蒸腾耗水特性 .....	孟 鹏,李玉灵,尤国春,等 (3050)
中亚热带常绿阔叶林粗木质残体呼吸季节动态及影响因素.....	刘 强,杨智杰,贺旭东,等 (3061)
盐土和沙土对新疆常见一年生盐生植物生长和体内矿质组成的影响 .....	张 科,田长彦,李春俭 (3069)
长白山北坡林线灌木草本植物与岳桦的动态关系.....	王晓东,刘惠清 (3077)
不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响.....	颜 侃,陈宗瑜 (3087)
基于因子分析的苜蓿叶片叶绿素高光谱反演研究 .....	肖艳芳,官辉力,周德民 (3098)
三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态.....	王晓荣,程瑞梅,唐万鹏,等 (3107)
三种利用方式对羊草草原土壤氨氧化细菌群落结构的影响.....	邹雨坤,张静妮,陈秀蓉,等 (3118)
西洋参根残体对自身生长的双重作用 .....	焦晓林,杜 静,高微微 (3128)
不同程度南方菟丝子寄生对入侵植物三叶鬼针草生长的影响 .....	张 静,闫 明,李钧敏 (3136)
山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价.....	张 菊,陈诗越,邓焕广,等 (3144)
太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响.....	刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等 (3154)
不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替.....	唐以杰,方展强,钟燕婷,等 (3160)
江西鄱阳湖流域中华秋沙鸭越冬期间的集群特征.....	邵明勤,曾宾宾,尚小龙,等 (3170)
秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响 .....	常 罂,王开锋,王 智 (3177)
内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和体温的似昼夜节律 .....	王鲁平,周 顺,孙国强 (3182)
温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响.....	李 庆,吴 蕾,杨 刚,等 (3189)
“双季稻-鸭”共生生态系统 C 循环 .....	张 帆,高旺盛,隋 鹏,等 (3198)
水稻籽粒灌浆过程中蛋白质表达特性及其对氮肥运筹的响应.....	张志兴,陈 军,李 忠,等 (3209)
<b>专论与综述</b>	
海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展 .....	张瑜斌,章洁香,孙省利 (3225)
海洋酸化效应对海水鱼类的综合影响评述.....	刘洪军,张振东,官曙光,等 (3233)
入侵种薇甘菊防治措施及策略评估.....	李鸣光,鲁尔贝,郭 强,等 (3240)
<b>研究简报</b>	
渭干河-库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究 .....	
..... 孙 倩,塔西甫拉提·特依拜,张 飞,等 (3252)	
2009 年冬季东海浮游植物群集 .....	郭术津,孙 军,戴民汉,等 (3266)
新疆野生多伞阿魏生境土壤理化性质和土壤微生物 .....	付 勇,庄 丽,王仲科,等 (3279)
塔里木盆地塔里木沙拐枣群落特征 .....	古丽努尔·沙比尔哈孜,潘伯荣,段士民 (3288)
矿区生态产业共生系统的稳定性.....	孙 博,王广成 (3296)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 338 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 36 \* 2012-05



**封面图说:**哈巴雪山和金沙江——“三江并流”自然景观位于青藏高原南延部分的横断山脉纵谷地区,由怒江、澜沧江、金沙江及其流域内的山脉组成。它地处东亚、南亚和青藏高原三大地理区域的交汇处,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地区,也是世界上生物物种最丰富的地区之一。哈巴雪山在金沙江左岸,与玉龙雪山隔江相望。图片反映的是金沙江的云南香格里拉段,远处为哈巴雪山。哈巴雪山主峰海拔 5396 m,而最低江面海拔仅为 1550 m,山脚与山顶的气温差达 22.8℃,巨大的海拔差异形成了明显的高山垂直性气候。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201104260554

王鲁平, 周顺, 孙国强. 内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和体温的似昼夜节律. 生态学报, 2012, 32(10): 3182-3188.

Wang L P, Zhou S, Sun G Q. Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters (*Phodopus roborovskii*). Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10): 3182-3188.

## 内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和 体温的似昼夜节律

王鲁平, 周顺, 孙国强\*

(青岛农业大学动物科技学院, 青岛 266109)

**摘要:** 小毛足鼠(*Phodopus roborovskii*)是分布在内蒙古草原沙地的一种小型哺乳动物, 关于其生物学和生态学特征, 尤其是生理学特征还知之甚少。似昼夜节律是动物行为学和生理生态学中备受关注的一个领域。在室内条件下通过体内埋置无线电传感器连续监测小毛足鼠的体温、用自动监测系统连续监测活动性和TSE LabMaster呼吸代谢测定系统连续测定了其代谢率的昼夜节律性。结果发现: 小毛足鼠在夜间的平均体温是( $37.27 \pm 0.39$ )℃, 昼间的平均体温是( $36.11 \pm 0.18$ )℃; 在夜间的平均代谢率是( $4.65 \pm 1.10$ ) $\text{mLO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 昼间的平均代谢率是( $3.09 \pm 0.42$ ) $\text{mLO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 在夜间的平均活动率为( $237 \pm 145$ )次/ $0.1\text{h}$ , 昼间的平均活动率为( $38 \pm 5$ )次/ $0.1\text{h}$ 。小毛足鼠的代谢率、活动性和体温的峰值相位主要集中在夜间, 属典型的夜行性动物。实验结果从行为学特性和生理学特征等新的角度支持了野外观察小毛足鼠是夜行性动物的推断。综合活动性、代谢率和体温三方面同步变化的特征, 为小毛足鼠的似昼夜节律变化提供了新的机理性解释。研究也表明小毛足鼠是研究野生动物似昼夜节律变化机理的好模型。

**关键词:** 小毛足鼠 (*Phodopus roborovskii*); 代谢率; 体温; 活动性; 行为; 似昼夜节律

## Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters (*Phodopus roborovskii*)

WANG Luping, ZHOU Shun, SUN Guoqiang\*

College of Animal Science, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

**Abstract:** Most living beings change their behavior and physiology on a daily basis (24 h), with rhythmicity a fundamental property of living matter. Circadian rhythm is one of the important behavioral and physiological properties of wild animals. The desert hamster (*Phodopus roborovskii*) is a small rodent species which inhabits mainly desert and semi-arid environments in Inner Mongolia, China. Although field observations have shown that this species is mainly active at night, we know little about their biology and ecology, especially ecological physiology. In order to understand more about the behavioral and physiological adaptations of desert rodents, 8 desert hamsters (4 males and 4 females, weighing 20.4—27.5 g and aged between 11 and 13 months) were individually caged and kept under a temperature of ( $23 \pm 1$ )℃ and a photoperiod of (16L:8D). Transmitters (ER-4000, Mini Mitter, USA) were implanted in the abdominal cavity of each hamster, and their body temperatures and activities were monitored for 24 h using a Vital View system. Their metabolic rates were also measured for 24 h using a TSE respirometry system (LabMaster, Germany). Our results showed that the average body temperature of the desert hamster is ( $37.27 \pm 0.39$ )℃ during the night and ( $36.11 \pm 0.18$ )℃ during the day. Their average metabolic rate is ( $4.65 \pm 1.10$ ) $\text{mLO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  and ( $3.09 \pm 0.42$ ) $\text{mLO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  during the night and day, respectively, and their average activity is ( $237 \pm 145$ ) counts/ $0.1\text{h}$  during the night and ( $38 \pm 5$ ) counts/ $0.1\text{h}$  during

收稿日期: 2011-04-26; 修订日期: 2011-08-22

\*通讯作者 Corresponding author. E-mail: qdnydxsgq@126.com

the day. Although ultradian activity rhythms were found over periods of 4, 6, 8, and 12 h, their amplitudes were much smaller than that of the 24h-circadian rhythm, which had a peak at ( $22.7\pm0.6$ ) h. A similar pattern was observed for body temperature, which peaked at ( $23.1\pm0.5$ ) h. Based on our analyses, body temperature, activity and metabolic rate all showed circadian rhythms and synchronization, with maxima during the night and minima during the day. These are typical properties of nocturnal animals, and support the idea that the desert hamster is a typical nocturnal rodent species. Behavioral observations in the field support this conclusion. Our results suggest that the desert hamster could be an ideal model for the study of the evolution and mechanisms of circadian rhythms in wild animals.

**Key Words:** desert hamster (*Phodopus roborovskii*); metabolic rate; body temperature; activity; behavior; circadian rhythm

生物都具有节律性。生活在温带地区的生物,随环境的季节性变化,其生理和行为节律等各个方面都需要进行调整,所以生物节律有季节节律(或者称年节律)、月节律和昼夜节律(24 h 节律)等<sup>[1]</sup>。生物节律性研究具有重要的理论价值和应用价值,可有助于理解一些医学和生活问题(城市化夜生活增多与癌症的关系,出差旅行的时差问题和夜班工作人群的健康问题等),也有助于理解有害动物的控制和濒危动物的保护等问题(如繁殖功能)<sup>[1-3]</sup>。

动物的似昼夜节律一直是动物行为学和生理学中的一个重要问题。分子生物学研究显示似昼夜节律是很多生物的一种固有生存模式<sup>[4]</sup>。通过对线虫的宽谱基因组学的研究也发现:很多生物都有内源性的一个似昼夜节律钟,并且这种机制是可以被温度和光照等环境信号所改变的<sup>[5]</sup>。对于人类而言,似昼夜节律的变化和被干扰与癌症等疾病的发生有着很密切的联系的,如最新的研究发现,似昼夜节律与细胞的扩散有着重要关系,夜间光照(Light at Night, LAN)能够很明显的提高乳腺肿瘤的扩散<sup>[3]</sup>。关于野生动物的似昼夜节律的研究还需要进一步加强。

在动物的似昼夜节律研究中,广泛受到关注的两个指标是活动性和体温<sup>[6-7]</sup>。很多研究发现,动物的活动性和体温的昼夜节律表现出紧密的同步性<sup>[8]</sup>,但其相关机理依然不是很清楚。动物体温的节律性与产热和散热的节律性是密切相关的,所以代谢率的节律性与体温或活动性的节律性应该是有一定关系的。但关于动物活动性、体温和代谢率的节律性及其相互关系的研究还不多见。

早在 20 世纪 80 年代初期,我国科学家就关注到了似昼夜节律这个动物行为学和生理学中的重要问题。关于哺乳动物的似昼夜节律已有一些研究,如高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*)<sup>[9]</sup>、根田鼠 (*Microtus oeconomus*)<sup>[10]</sup>、高原鼢鼠 (*Myospalax baileyi*)<sup>[2]</sup>、小家鼠 (*Mus musculus*)、褐家鼠 (*Rattus norvegicus*)<sup>[11]</sup>、大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*)<sup>[12]</sup>、布氏田鼠 (*Lasiopodomys brandtii*)<sup>[13]</sup>等。通过野外和实验室研究发现,高原鼠兔是典型的昼行性动物,在自然光照下每日活动具有两个活动高峰<sup>[9]</sup>。大熊猫的昼夜活动性与季节变化有关,光照、温度和湿度都能启动大熊猫的繁殖和取食节律<sup>[12]</sup>。通过利用无线电遥测技术对青藏高原高原鼢鼠日活动节律、季节性活动、交配活动、地面活动的研究,发现地下活动的高原鼢鼠也具有明显的似昼夜节律,全天活动高峰一般在日落前数小时<sup>[2]</sup>。曾缙祥等<sup>[11]</sup>认为高原鼢鼠的昼夜节律与其耐热性能有重要关系。

小毛足鼠 (*Phodopus roborovskii*) 在分类上属于啮齿目 (Rodentia)、仓鼠科 (Cricetidae)、毛足鼠属 (*Phodopus*),在我国主要分布在青海、内蒙古、宁夏、甘肃、陕西、辽宁、新疆等地的沙漠、半沙漠等干燥地区。关于小毛足鼠的代谢特征<sup>[14]</sup>、低温和限食对小毛足鼠体温和能量代谢的影响<sup>[15]</sup>、野外状态下的食量与食性动态<sup>[16]</sup>,以及行为习性等<sup>[17]</sup>,已经有一些研究。野外行为观察和室内研究表明,小毛足鼠有着极强的似昼夜节律特征<sup>[18]</sup>,但关于其体温、代谢和活动性的似昼夜节律及其相关关系,尚缺乏综合研究。本项研究利用现代无线电遥测技术、适时活动监测系统和适时能量代谢测定系统等,在实验室条件下对小毛足鼠的活动性、体温和代谢率的节律性进行了研究,以期对体温、代谢率和活动性之间的关系进行分析,进一步了解这个物种的似昼夜节律模式。

## 1 材料与方法

### 1.1 动物饲养

小毛足鼠是2007年9月捕自内蒙古锡林郭勒盟浑善达克沙地,动物捕获后在中国科学院动物研究所动物饲养房内饲养。本实验用小毛足鼠是实验室内的繁殖种群。16选取8只成年小毛足鼠(雌雄各半,体重范围:20.4—27.5 g,年龄11—13月龄),单笼饲养,室温是(23±1)℃,光照为16L:8D,饲喂大小鼠标准颗粒饲料块(北京华阜康生物科技有限公司)。本实验中动物的处理符合中国科学院动物研究所动物管理使用委员会的要求。

### 1.2 体温和活动性测定

对小毛足鼠进行手术,在腹腔内埋置具有监测温度和活动性功能的无线电传感器(15.5 mm×6.5 mm,重1.1 g)(Mini Mitter公司生产,型号是G2 E-Mitter,在33—41℃的测量范围可以精确到±0.1℃),进行动物体温和活动性的自动监测。手术前,将手术器械以及传感器放入75%的酒精消毒30 min,同时用皮下注射浓度为0.5%的戊巴比妥钠溶液麻醉。动物在被充分麻醉后,利用碘伏(南京今日卫生防疫制品有限公司)对动物切口处进行消毒。手术时,在消毒的腹下腹中线处切开,切口利用可吸收的PGA手术线缝合,为防止感染,手术后再次利用碘伏和酒精在切口处消毒。手术期间利用德国生产的Temp-Control手术恒温器调整手术台温度,温度保持在39.6℃<sup>[18]</sup>。

在实验室对8只小毛足鼠进行监测。手术后3 d,分别记录体重。体重在手术后略有下降,但是在第3天恢复正常。动物术后放回塑料饲养盒内。在手术后第10天,将8只动物的饲养盒分3次放置在Vital View系统的接收器(Mini Mitter公司生产,型号是ER-4000)上,按照说明书连接好系统,运行软件,设置参数,用于记录小毛足鼠的活动性和体温的变化。动物适应1 d,按照传感器上的最低温度和最高温度(37℃和41℃)分别输入8只传感器的发出信号的频率。数据开始记录时间为2011年2月8日11:43。之后,VitalView每6 min记录1次数据,1 h记录10个数据点,1 d记录240个数据点。文中动物活动性和计数单位为次(counts)/0.1 h<sup>[18]</sup>。

### 1.3 代谢测定

使用德国TSE公司生产的开放式代谢测定仪(LabMaster系统)进行小毛足鼠的代谢率的测定。测定时进入和流出动物呼吸室的气体流量都是600 mL/min,呼吸室大小是20 cm×10 cm×13 cm。测定时的温度是23℃,每只进行48 h的连续测定。所有操作按照系统操作手册进行,代谢率结果校正为标准状态下的结果,代谢率结果由测定系统自动输出。

### 1.4 数据统计和分析

体温、活动性和代谢率原始数据的分析,在昼夜相之间的比较采用配对样本T检验的方法,节律分析使用Chronos-Fit软件(Version 1.05)<sup>[19]</sup>。在进行节律分析时,使用偏傅里叶分析和逐步回归法相结合,传统的偏傅里叶分析包括所拟合模型中的各种波形,节律分析对各个谐波分别进行拟合,并通过F检验检查其统计显著性。本文数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示,P<0.05为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 活动性的昼夜变化

小毛足鼠的活动性昼夜差异显著,夜间平均活动性是白天的6.3倍( $t=3.926, df=7, P<0.01$ )(图1和图2)。夜间的平均活动性是(237±145)次/0.1 h,白天的平均活动性是(38±5)次/0.1 h;夜间活动强度最高时的活动性为(1071±410)次/0.1 h,昼间最高活动强度时的活动性是(398±101)次/0.1 h,夜间最高活动强度

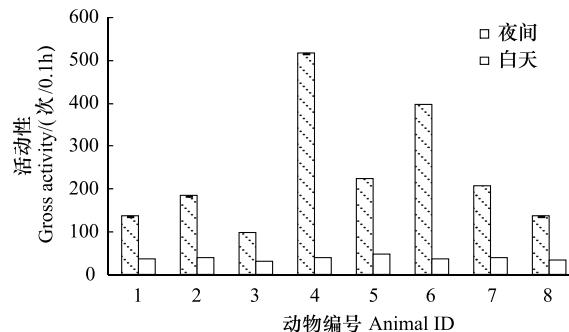


图1 小毛足鼠平均活动性的昼夜变化( $n=8$ )

Fig. 1 Mean day and night activity in desert hamsters

也显著高于白天( $t = 4.832, df = 7, P < 0.01$ )。

通过节律分析发现,小毛足鼠的活动性呈现出周期为4 h ( $F = 3.44—26.87, P < 0.05$ )、6 h ( $F = 4—62.01, P < 0.05$ )、8 h ( $F = 35.67—290.51, P < 0.05$ )、12 h ( $F = 57.19—624.81, P < 0.05$ ) 和 24 h ( $F = 144.66—674.84, P < 0.05$ ) 的节律性,但近 24 h 周期的强度值是最高的( $186.5 \pm 86.2$ ) 次/ $0.1\text{h}$ ,即动物活动性的似昼夜节律性最强。活动性的变化可由模型解释的百分比为( $43.4 \pm 16.8$ )% ( $F = 52.83—539.89, P < 0.01$ )。24 h 活动性周期的峰值相位为  $22.7 \pm 0.6$ ,即每天在 22:42 前后是动物以 24 h 为周期的活动高峰。

## 2.2 体温的昼夜变化

小毛足鼠的体温也表现出显著的昼夜差异 ( $t = 10.916, df = 7, P < 0.01$ )。夜间的平均体温是( $37.27 \pm 0.39$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,白天的平均体温是( $36.11 \pm 0.18$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,夜间平均体温比白天高  $1.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 3 和图 4)。

节律分析发现,小毛足鼠的体温也呈现出周期为 4 h ( $F = 9.93—92.63, P < 0.05$ )、6 h ( $F = 35.75—359.19, P < 0.05$ )、8 h ( $F = 14.39—389.24, P < 0.05$ )、12 h ( $F = 177.33—854.62, P < 0.05$ ) 和 24 h ( $F = 176.07—869.54, P < 0.05$ ) 的节律性,近 24 h 周期的强度值也是最高的(8 只动物平均  $312.9 \pm 94.1$ ),即动物体温似昼夜节律性也是最强的。体温的变化可由模型解释的百分比为( $76.9 \pm 11.9$ )% ( $F = 98.02—798.75, P < 0.01$ )。体温 24h 周期的峰值相位为  $23.1 \pm 0.5$ ,即每天在 23:10 前后是动物以 24h 为周期的体温高峰。

## 2.3 代谢率的变化

小毛足鼠的代谢率夜间明显高于昼间( $t = 9.832, df = 7, P < 0.01$ ),夜间平均是( $4.65 \pm 1.10$ ) $\text{mLO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,昼间平均是( $3.09 \pm 0.42$ ) $\text{mLO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (图 5)。如 4 号动物在夜间的平均代谢率是( $5.87 \pm 1.14$ ) $\text{mLO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,在昼间的平均代谢率是( $3.31 \pm 0.37$ ) $\text{mLO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。在夜间的最高代谢率是  $7.80\text{ mLO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,在昼间的最高代谢率是  $4.76\text{ mLO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (图 6)。

## 2.4 活动性和体温之间的关系

利用 Vital View 系统可以同时记录动物的活动性和体温,经分析这两个指标是密切相关的,节律性同步(图 7)。

## 3 讨论

本研究发现,小毛足鼠的体温、活动性和代谢率等昼夜节律明显,夜间明显高于昼间,表现出典型的夜行

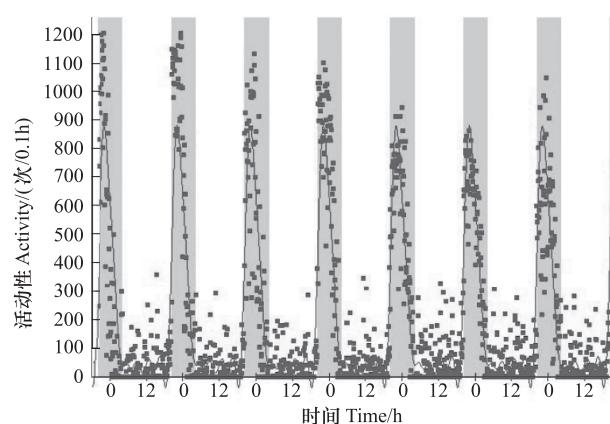


图 2 一只代表性小毛足鼠的昼夜活动性(阴影表示夜间,而空白处表示白天)

Fig. 2 The activity pattern for day and night of a representative desert hamster (shadow represents night and white represents day)

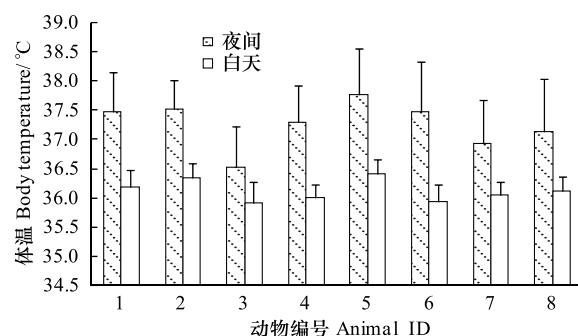


图 3 小毛足鼠白日和夜间的平均体温 ( $n = 8$ )

Fig. 3 Mean body temperatures at day and night for desert hamsters ( $n = 8$ )

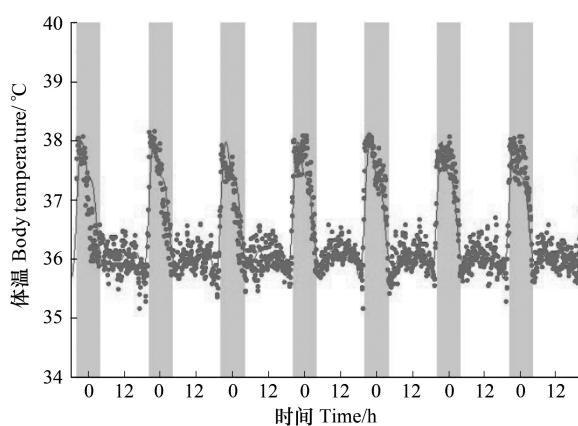


图 4 一只代表性小毛足鼠昼夜体温的变化(阴影表示夜间,而空白表示白天)

Fig. 4 Variations in body temperature between day and night in a represent desert hamster (shadow represents night and white represents day)

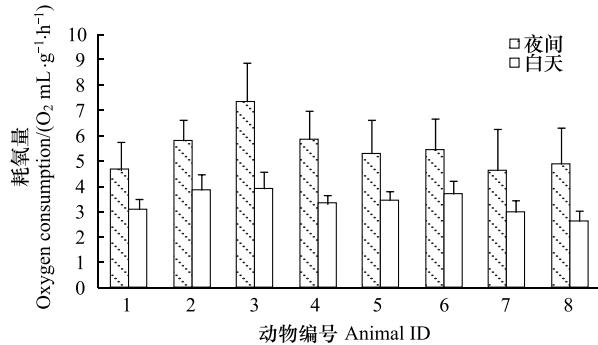
图5 小毛足鼠平均代谢率的昼夜变化 ( $n = 8$ )

Fig. 5 Variations in mean metabolic rate between day and night in desert hamsters

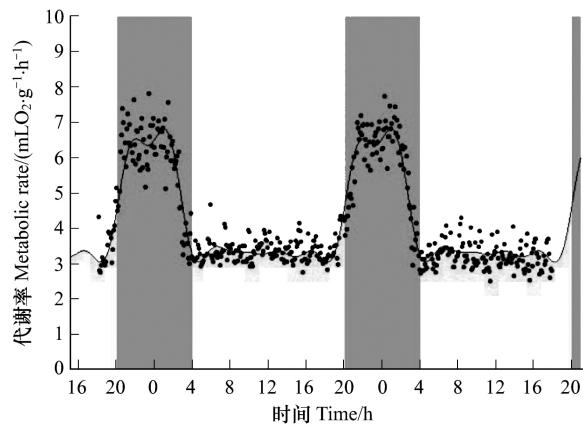


图6 一只代表性小毛足鼠代谢率的昼夜变化(阴影表示夜间, 空白表示昼间)

Fig. 6 Variations in metabolic rate between day and night in a representative desert hamster (shadow represents night and white represents day)

性动物的特征。同时,在实验期间对4只动物的24 h活动录像资料分析也表明,夜间的活动中取食行为(按时间分配统计)占主要比例,而昼间正好相反,休息占主要比例。这是第一次通过行为学和生理学技术手段,从活动性、体温和代谢率三者的节律性对小毛足鼠的似昼夜节律进行阐述。

小毛足鼠在内蒙古草原主要栖息在沙漠化(荒漠化)地区,生存环境昼夜温差大,主要以植物的种子为食。野外行为学观察发现,小毛足鼠主要在夜间觅食,属于夜行性动物<sup>[17]</sup>。本文的行为学和生理学结果从新的角度支持了野外观察得出的关于小毛足鼠是夜行性动物的推断。

战新梅和王德华<sup>[14]</sup>报道,小毛足鼠的代谢率水平在啮齿动物中相对较高。本研究结果发现,小毛足鼠在夜间的代谢水平明显高于昼间。综合分析,小毛足鼠的代谢水平相对较高与其小体型、夜间活动、独居、夜间活动动物与环境之间的温差大等特点有关。Chi and Wang<sup>[18]</sup>发现,在低温驯化条件下,小毛足鼠的活动性依然很高。Haim and Izhaki<sup>[20]</sup>认为,夜行性小型哺乳动物的代谢水平要高于昼行性动物。他们通过对沙漠地区的啮齿类研究还发现,昼行性动物和沙漠动物的非颤抖性产热(nongshivering thermogenesis, NST)范围(NST与基础代谢率的比率)比夜行性和湿润生境的种类要高。小毛足鼠的NST范围相对较高<sup>[14]</sup>,这对于其夜间活动非常有利,具有适应意义。

小毛足鼠的活动性、体温和代谢水平都显示出明显的似昼夜节律。本研究结果表明小毛足鼠的活动性和体温是密切相关的(图7)。在夜间动物活动性高,体温也较高,二者的变化节律同步。结合代谢率的变化也发现,小毛足鼠的代谢率和活动性、体温的变化也是同步的。关于体温和活动性节律性的同步性已经有很多研究,在许多物种中都有发现<sup>[8]</sup>,尽管也有一些不同的结果,如人类<sup>[21]</sup>。Refinetti<sup>[7]</sup>对8种哺乳动物的活动性和体温的节律性及其相互关系进行了详细分析,发现两种节律性是非常同步的。同时综合体温、活动性和代谢效率进行分析的,还不多见。在我国曾缙祥等<sup>[11]</sup>很早就利用代谢率来反映动物的昼夜节律,发现动物的代谢水平的变化可以基本反映动物的活动节律。Yamaoka等<sup>[22]</sup>在实验大鼠中发现,当动物取食高蛋白无糖食物,即使能量摄入不足,动物也能维持代谢率的似昼夜节律,并且在活动性没有增加的情况下,可以导致动物在昼间能维持高体温和降低体重。关于动物的活动性、体温和代谢率节律的同步性及其相互关系,尚需要进一步的实验来确定。

很多研究已经表明,影响似昼夜节律的因素很多,如光照就是一个很重要的影响<sup>[23,8]</sup>。已有清楚的证据表明,啮齿动物的活动性是由来自黎明和黄昏两个振荡器信号导致的,但体温和活动性的节律性是否具有共同的昼夜节律调控机理或者是分别独立的调控机制,现在尚不清楚<sup>[8]</sup>。和在室内条件下,改变光照周期,小毛足鼠的似昼夜节律也发生变化<sup>[15,18]</sup>。小型啮齿类的生理节律是由整个机体很多因素综合决定的。决定似

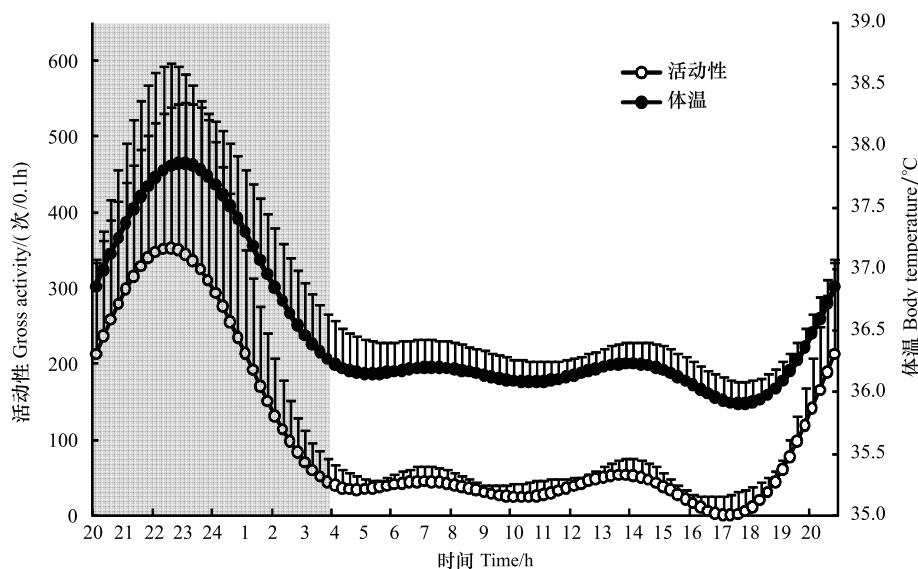


图7 小毛足鼠的体温和活动性 24 小时的周期变化(阴影部分表示夜间)(n=8)

Fig. 7 Variations in body temperatures and gross activity in 24 hours for desert hamsters (n = 8). Shaded area represents night

昼夜节律的因素很多,有内源性因素和外源性因素<sup>[9]</sup>,二者共同决定了动物的似昼夜节律模式。似昼夜节律生物钟与季节性生物钟是密切相关的,可以随光周期的变化而对行为和生理的似昼夜节律进行调节<sup>[8]</sup>。似昼夜节律对于小型啮齿类哺乳动物来说是适应环境的一种重要策略。

#### 4 小结

本文在室内条件下,通过体内埋置无线电传感器、自动监测系统和TSE LabMaster 呼吸代谢测定系统连续监测了小毛足鼠体温、活动性和代谢率在24h内的同步变化规律,揭示了三者之间可能的内在关系,从行为学和生理学等新的角度支持了野外观察关于小毛足鼠是典型夜行性动物的推断。本研究在测定体温和活动性节律的基础上,测定了代谢率的节律性,并综合分析了体温、活动性和代谢率特征的昼夜节律性及其同步性。本结果还显示,小毛足鼠是一个很好的研究似昼夜节律的野生动物模型,其调控机理需要进一步的整合研究。关于野生动物似昼夜节律的研究除了进一步理解野生动物对环境的适应对策外,对人类由于熬夜(夜班)、旅行时的时差等因素导致的生理节律紊乱及其引发的相关疾病的认识,也具有重要的启发意义<sup>[3]</sup>。同时对动物的繁殖繁育、有害生物控制、濒危动物的保护等也具有重要的意义。

**致谢:**青岛农业大学动物科技学院对本项工作给予支持。中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理国家重点实验室提供实验条件。中国科学院动物研究所迟庆生博士在实验设计、仪器使用和数据处理等方面给予帮助。澳大利亚悉尼大学生命科学学院 Ian D Hume 教授润色英文摘要。中山大学翻译学院孙雅姗同学在实验中给予协助,特此致谢。

#### References:

- [ 1 ] Shang Y C. Animal Behavior. Beijing: Beijing University Press, 2005.
- [ 2 ] Zhou W Y, Dou F M. Studies on activity and home range of plateau zokor. *Acta Theriologica Sinica*, 1990, 10(1): 31-39.
- [ 3 ] Schernhammer E S, Kroenke, C H, Laden F, Hankinson S E. Night work and risk of breast cancer. *Epidemiology*, 2006, 17(1): 108-111.
- [ 4 ] Meijer J H, Michel S, Vanderleest H T, Rohling J H T. Daily and seasonal adaptation of the circadian clock requires plasticity of SCN neuronal network. *European Journal of Neuroscience*, 2010, 32(12): 2134-2151.
- [ 5 ] van der Linden A M, Beverly M, Kadener S, Rodriguez J, Wasserman S, Rosbash M, Sengupta P. Genome-wide analysis of light and temperature-entrained circadian transcripts in *Caenorhabditis elegans*. *PLoS Biology*, 2010, 8(10): e1000503-e1000503.
- [ 6 ] Refinetti R, Menaker M. The circadian rhythm of body temperature. *Physiology and Behavior*, 1992, 51(3): 613-637.
- [ 7 ] Refinetti R. Relationship between the daily rhythms of locomotor activity and body temperature in eight mammalian species. *American Journal of*

- Physiology, 1999, 277(5) : R1493-R1500.
- [ 8 ] Benstaali C, Mailloux A, Bogdan A, Auzéby A, Touitou Y. Circadian rhythms of body temperature and motor activity in rodents: their relationships with the light-dark cycle. Life Sciences, 2001, 68(24) : 2645-2656.
- [ 9 ] Zong H, Xia W P. Circadian activity rhythms of plateau pikas, *ochotona curzonae*. Acta Theriologica Sinica, 1987, 7(3) : 211-223.
- [ 10 ] Wang D H, Jiang Y J, Wang Z W. Behavioral thermoregulation in root voles//Liu J K, Wang Z W, eds. Alpine Meadow Ecosystem (3). Beijing: Science Press, 1991 : 167-172.
- [ 11 ] Zeng J X, Wang Z W, Han Y C. On the daily activity rhythm of five small mammals. Acta Theriologica Sinica, 1981, 1(2) : 190-197.
- [ 12 ] Hu J C. Daily activity rhythm of giant panda. Acta Theriologica Sinica, 1987, 7(4) : 241-245.
- [ 13 ] Liu Q S, Li J Y, Wang D H. Ultradian rhythms and the nutritional importance of caecotrophy in captive Brandt's voles (*Lasiopodomys brandtii*). Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology, 2007, 177(4) : 423-432.
- [ 14 ] Zhan X M, Wang D H. Energy metabolism and thermoregulation of the desert hamster (*Phodopus roborovskii*) in Hunshandake Desert of Inner Mongolia, China. Acta Theriologica Sinica, 2004, 24(2) : 152-159.
- [ 15 ] Chi Q S. Thermal Physiology and Energetics in Desert Hamsters (*Phodopus roborovskii*) During Cold Acclimation and Food Restriction [ D ]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [ 16 ] Wan X R, Liu W, Wang G H, Zhong W Q. Food consumption and feeding characters of *Phodopus roborovskii* on Hunshandake sandy land of Inner Mongolia. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(2) : 223-227.
- [ 17 ] Wang G H, Zhong W Q, Wan X R. Biological habit of desert hamster in the Hunshandake desert in Inner Mongolia. Chinese Journal of Ecology, 2001, 20(6) : 65-67.
- [ 18 ] Chi Q S, Wang D H. Thermal physiology and energetics in male desert hamsters (*Phodopus roborovskii*) during cold acclimation. Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology, 2011, 181(1) : 91-103.
- [ 19 ] Zuther P, Lemmer B. Chronos-Fit. 2005, <http://www.ma.uniheidelberg.de/inst/phar/forschungLemmer.html>.
- [ 20 ] Haim A, Izhaki I. The ecological significance of resting metabolic rate and non shivering thermogenesis for rodents. Journal of Thermal Biology, 1993, 18(2) : 71-81
- [ 21 ] Wever R A. Phase shifts of human circadian rhythms due to shifts of artificial Zeitgebers. Chronobiologia, 1980, 7(3) : 303-327.
- [ 22 ] Yamaoka I, Hagi M, Doi M. Circadian changes in core body temperature, metabolic rate and locomotor activity in rats on a high-protein, carbohydrate-free diet. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 2009, 55(6) : 511-517.
- [ 23 ] Xiao L. Evolutionary responses of animals to photoperiod. Jiangxi Plant Protection, 2010, 33(2) : 49-56.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 尚玉昌. 动物行为学. 北京: 北京大学出版社, 2005.
- [ 2 ] 周文杨, 窦丰满. 高原鼢鼠活动与巢区的初步研究. 兽类学报, 1990, 10(1) : 31-39.
- [ 9 ] 宗浩, 夏武平. 高原鼠兔似昼夜活动节律的研究. 兽类学报, 1987, 7(3) : 211-223.
- [ 10 ] 王德华, 姜永进, 王祖望. 根田鼠的行为热能调节//刘季科, 王祖望. 高寒草甸生态系统 (第三集). 北京: 科学出版社, 1991 : 167-172.
- [ 11 ] 曾缙祥, 王祖望, 韩永才. 五种小哺乳动物活动节律的初步研究. 兽类学报, 1981, 1(2) : 190-197.
- [ 12 ] 胡锦矗. 大熊猫的昼夜活动节律. 兽类学报, 1987, 7(4) : 241-245.
- [ 14 ] 战新梅, 王德华. 内蒙古浑善达克沙地小毛足鼠的能量代谢和体温调节. 兽类学报, 2004, 24(2) : 152-159.
- [ 15 ] 迟庆生. 低温和限食对小毛足鼠体温和能量代谢的影响 [ D ]. 北京: 中国科学院研究生院, 2010.
- [ 16 ] 宛新荣, 刘伟, 王广和, 钟文勤. 浑善达克沙地小毛足鼠的食量与食性动态. 动物学杂志, 2007, 26(2) : 223-227.
- [ 17 ] 王广和, 钟文勤, 宛新荣. 浑善达克沙地小毛足鼠的生物学习性. 生态学杂志, 2001, 20(6) : 65-67.
- [ 23 ] 肖岚. 动物光周期性的进化. 江西植保, 2010, 33(2) : 49-56.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32 ,No. 10 May,2012( Semimonthly)**  
**CONTENTS**

- Landscape aesthetic assessment based on experiential paradigm assessment technology ..... LI Xuanqi, HUA Lizhong (2965)  
Significant impact of job-housing distance on carbon emissions from transport: a scenario analysis ..... TONG Kangkang, MA Keming (2975)  
The watershed eco-compensation system from the perspective of economics: the cases of pollution compensation ..... LIU Tao, WU Gang, FU Xiao (2985)  
The tourism development impact on Shanghai coastal wetland vegetation ..... LIU Shidong, GAO Jun (2992)  
Effects of the Wenchuan Earthquake on shoot growth and development of the umbrella bamboo (*Fargesia robusta*), one of the giant panda's staple bamboos ..... LIAO Lihuan, XU Yu, RAN Jianghong, et al (3001)  
Forest carbon sequestration and carbon sink/source in Jiangxi Province ..... HUANG Lin, SHAO Quanqin, LIU Jiyuan (3010)  
Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin ..... CHEN Jie, GUO Yili, LU Xunling, et al (3021)  
Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang ..... GU Meiyng, XU Wanli, MAO Jun, et al (3031)  
Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Caragana korshinskii* Kom. in desert zone ..... HE Xueli, CHEN Zheng, GUO Huijuan, et al (3041)  
Characteristics of photosynthetic productivity and water-consumption for transpiration in *Pinus densiflora* var. *zhangwuensis* and *Pinus sylvestris* var. *mongolica* ..... MENG Peng, LI Yuling, YOU Guochun, et al (3050)  
Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest ..... LIU Qiang, YANG Zhijie, HE Xudong, et al (3061)  
Influence of saline soil and sandy soil on growth and mineral constituents of common annual halophytes in Xinjiang ..... ZHANG Ke, TIAN Changyan, LI Chunjian (3069)  
Dynamics change of *Betula ermanii* population related to shrub and grass on treeline of northern slope of Changbai Mountains ..... WANG Xiaodong, LIU Huiqing (3077)  
Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco ..... YAN Kan, CHEN Zongyu (3087)  
A study on the hyperspectral inversion for estimating leaf chlorophyll content of clover based on factor analysis ..... XIAO Yanfang, GONG Huili, ZHOU Demin (3098)  
Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water ..... WANG Xiaorong, CHENG Ruimei, TANG Wanpeng, et al (3107)  
Effects of three land use patterns on diversity and community structure of soil ammonia-oxidizing bacteria in *Leymus chinensis* steppe ..... ZOU Yukun, ZHANG Jingni, CHEN Xiurong, et al (3118)  
Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth ..... JIAO Xiaolin, DU Jing, GAO Weiwei (3128)  
Effect of differing levels parasitism from native *Cuscuta australis* on invasive *Bidens pilosa* growth ..... ZHANG Jing, YAN Ming, LI Junmin (3136)  
Heavy metal concentrations and pollution assessment of riparian soils in Shandong Province ..... ZHANG Ju, CHEN Shiyue, DENG Huanguang, et al (3144)  
Effect of decomposition products of cyanobacteria on *Myriophyllum spicatum* and water quality in Lake Taihu, China ..... LIU Lizhen, QIN Boqiang, ZHU Guangwei, et al (3154)  
Succession of macrofauna communities in wetlands of *Sonneratia apetala* artificial mangroves during different ecological restoration stages ..... TANG Yijie, FANG Zhanqiang, ZHONG Yanting, et al (3160)  
Group characteristics of Chinese Merganser (*Mergus squamatus*) during the wintering period in Poyang Lake watershed, Jiangxi Province ..... SHAO Mingqin, ZENG Binbin, SHANG Xiaolong, et al (3170)  
Effect of forest rodents on predation and dispersal of *Pinus armandii* seeds in Qinling Mountains ..... CHANG Gang, WANG Kaifeng, WANG Zhi (3177)  
Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters (*Phodopus roborowskii*) ..... WANG Luping, ZHOU Shun, SUN Guoqiang (3182)  
Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of *Locusta migratoria tibetensis* Chen ..... LI Qing, WU Lei, YANG Gang, et al (3189)  
Carbon cycling from rice-duck mutual ecosystem during double cropping rice growth season ..... ZHANG Fan, GAO Wangsheng, SUI Peng, et al (3198)  
Protein expression characteristics and their response to nitrogen application during grain-filling stage of rice (*Oryza Sativa* L) ..... ZHANG Zhixing, CHENG Jun, LI Zhong, et al (3209)  
**Review and Monograph**  
Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria ..... ZHANG Yubin, ZHANG Jiexiang, SUN Xingli (3225)  
A review of comprehensive effect of ocean acidification on marine fishes ..... LIU Hongjun, ZHANG Zhendong, GUAN Shuguang, et al (3233)  
Evaluation of the controlling methods and strategies for *Mikania micrantha* H. B. K. ..... LI Mingguang, LU Erbei, GUO Qiang, et al (3240)  
**Scientific Note**  
Dynamics of land use/cover changes in the Weigan and Kuqa rivers delta oasis based on Remote Sensing ..... SUN Qian, TASHPOLAT. Tiyip, ZHANG Fei, et al (3252)  
Phytoplankton assemblages in East China Sea in winter 2009 ..... GUO Shujin, SUN Jun, DAI Minhan, et al (3266)  
On the physical chemical and soil microbial properties of soils in the habitat of wild Ferula in Xinjiang ..... FU Yong, ZHUANG Li, WANG Zhongke, et al (3279)  
The community characteristics of *Calligonum roborowskii* A. Los in Tarim Basin ..... Gulnur Sabirhazi, PAN Borong, DAUN Shimin (3288)  
Stability analysis of mine ecological industrial symbiotic system ..... SUN Bo, WANG Guangcheng (3296)

# 《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

## 生态学报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 10 期 (2012 年 5 月)

## ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 10 (May, 2012)

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

主 编 冯宗炜  
主 管 中国科学技术协会  
主 办 中国生态学学会  
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

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:1000717

印 刷 北京北林印刷厂  
行 书 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@cspg.net

订 购 全国各地邮局  
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  
广告经营 京海工商广字第 8013 号  
许 可 证

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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei  
Supervised by China Association for Science and Technology  
Sponsored by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China  
Foreign China International Book Trading  
Corporation  
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933  
10  
9 771000093125