

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

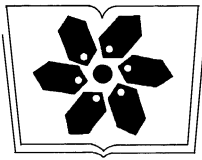
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 24 期 Vol.31 No.24 **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 24 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

柑橘黄龙病株不同部位内生细菌群落结构的多样性	刘 波, 郑雪芳, 孙大光, 等 (7325)
小兴安岭红松径向生长对未来气候变化的响应	尹 红, 王 靖, 刘洪滨, 等 (7343)
污水地下渗透系统脱氮效果及动力学过程	李海波, 李英华, 孙铁珩, 等 (7351)
基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划	肖 燧, 陈圣宾, 张 路, 等 (7357)
羌塘地区草食性野生动物的生态服务价值评估——以藏羚羊为例	鲁春霞, 刘 铭, 冯 跃, 等 (7370)
湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征	许倍慎, 周 勇, 徐 理, 等 (7379)
滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响	李宁云, 袁 华, 田 昆, 等 (7388)
基于连接性考虑的湿地生态系统保护多预案分析——以黄淮海地区为例	宋晓龙, 李晓文, 张明祥, 等 (7397)
青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力	韩道瑞, 曹广民, 郭小伟, 等 (7408)
影响黄土高原地物光谱反射率的非均匀因子及反照率参数化研究	张 杰, 张 强 (7418)
基于 GIS 的下辽河平原地下水生态敏感性评价	孙才志, 杨 磊, 胡冬玲 (7428)
厦门市土地利用变化下的生态敏感性	黄 静, 崔胜辉, 李方一, 等 (7441)
我国保护地生态旅游发展现状调查分析	钟林生, 王 婧 (7450)
黄腹山鹧鸪稳定的配偶关系限制雄性欺骗者	褚福印, 唐思贤, 潘虎君, 等 (7458)
食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响	朱俊霞, 王 勇, 张美文, 等 (7464)
具有捕食正效应的捕食-食饵系统	祁 君, 苏志勇 (7471)
桑科中 4 种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究	张 琳, WANG Baode, 许志春 (7479)
栗山天牛成虫羽化与温湿度的关系	杨忠岐, 王小艺, 王 宝, 等 (7486)
人工巢箱条件下杂色山雀的巢位选择及其对繁殖成功率的影响	李 乐, 万冬梅, 刘 鹤, 等 (7492)
鸭绿江口湿地鸕鹚类停歇地的生物生态研究	宋 伦, 杨国军, 李 爱, 等 (7500)
锡林郭勒草原区气温的时空变化特征	王海梅, 李政海, 乌 兰, 等 (7511)
UV-B 辐射胁迫对杨桐幼苗生长及光合生理的影响	兰春剑, 江 洪, 黄梅玲, 等 (7516)
小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合机理	赵风华, 王秋凤, 王建林, 等 (7526)
利用稳定氢氧同位素定量区分白刺水分来源的方法比较	巩国丽, 陈 辉, 段德玉 (7533)
2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种红树植物幼苗的影响	雍石泉, 仝 川, 庄晨辉, 等 (7542)
人参皂苷与生态因子的相关性	谢彩香, 索风梅, 贾光林, 等 (7551)
苈对黑麦草根茎几种低分子量有机分泌物的影响	谢晓梅, 廖 敏, 杨 静 (7564)
盐碱地柠条根围土中黑曲霉的分离鉴定及解磷能力测定	张丽珍, 樊晶晶, 牛 伟, 等 (7571)
不同近地表土壤水文条件下雨滴打击对黑土坡面养分流失的影响	安 娟, 郑粉莉, 李桂芳, 等 (7579)
煤电生产系统的能值分析及新指标体系的构建	楼 波, 徐 毅, 林振冠 (7591)
专论与综述	
东南亚高山森林植被变化对流域产水量的影响	张远东, 刘世荣, 顾峰雪 (7601)
干旱荒漠区斑块状植被空间格局及其防沙效应研究进展	胡广录, 赵文智, 王 岗 (7609)
利用农业生物多样性持续控制有害生物	高 东, 何霞红, 朱书生 (7617)
研究简报	
洪湖湿地生态系统土壤有机碳及养分含量特征	刘 刚, 沈守云, 闫文德, 等 (7625)
氯氰菊酯和溴氰菊酯对蓼花臂尾轮虫生殖的影响	黄 林, 刘昌利, 韦传宝, 等 (7632)
学术信息与动态	
SCOPE-ZHONGYU 环境论坛(2011)暨环境科学与可持续发展国际会议成功举办	(7639)
《生态学报》3 篇文章入选 2010 年中国百篇最具影响国内学术论文 等	(I)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2011-12	



封面图说: 泥炭藓大多生长在多水、寒冷和贫营养的生境, 同时有少数的草本、矮小灌木也生长在其中, 但优势植物仍然是泥炭藓属植物。泥炭藓植物植株死后逐渐堆积形成泥炭。经过若干年的生长演变, 形成了大片的泥炭藓沼泽。这种沼泽地有黑黑的泥炭, 绿绿的草甸和亮晶晶的斑块状水面相间相衬, 远远看去就像大地铺上了锦绣地毯一样美丽壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

朱俊霞,王勇,张美文,李波,杨玉超. 食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响. 生态学报, 2011, 31 (24): 7464-7470.

Zhu J X, Wang Y, Zhang M W, Li B, Yang Y C. Effects of dietary protein content and food restriction on the physiological characteristics of female *Microtus fortis*. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (24): 7464-7470.

食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响

朱俊霞^{1,2}, 王 勇^{1,*}, 张美文¹, 李 波¹, 杨玉超^{1,2}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 中国科学院亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:为了研究食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响,实验以成年雌性东方田鼠为对象,在控制其他因子一致的条件下,依据食物条件设置 4 个处理组:20% 蛋白质+自由取食、20% 蛋白质+70% 限食、10% 蛋白质+自由取食、10% 蛋白质+70% 限食。经过 4 周的食物驯化,测定了动物体重、动情周期、雌激素(雌二醇、孕酮、卵泡刺激素)和内脏器官(脾脏、肝脏、肾脏、子宫)湿重等指标。结果发现:(1)限食 70% 使东方田鼠体重减少,动情期缩短,脾脏、肝脏、肾脏及子宫湿重均显著减轻。(2)10% 蛋白含量降低了脾脏湿重和肝脏湿重,但未显著影响体重、肾脏湿重和子宫湿重。(3)蛋白和限食均未影响雌二醇、孕酮、卵泡刺激素的含量及动情周期的长短。实验结果表明,在食物资源不理想的情况下,成年雌性东方田鼠通过降低体重来维持基本生存,内脏器官重量也相应地减轻,但是与繁殖相关的生理特性变化不显著。相对与食物蛋白含量,可获得的食物量的多少是引起东方田鼠生理变化的主要因素。实验结果反映出食物资源对成年雌性东方田鼠的生理特性产生了影响,但这些影响对其繁殖行为的调控强度及季节性的种群波动的作用还需结合其他相关方面做进一步探究。

关键词:东方田鼠;蛋白含量;限食;生理特性

Effects of dietary protein content and food restriction on the physiological characteristics of female *Microtus fortis*

ZHU Junxia^{1,2}, WANG Yong^{1,*}, ZHANG Meiwen¹, LI Bo¹, YANG Yuchao^{1,2}

1 Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Food plays a vital role in the survival of animals. Previous findings have shown that food restriction and food quality have a significant effect on body growth, endocrine, reproduction and other physiological characteristics. These results also indicated that changes in food consumption can affect breeding behavior and population fluctuation. Therefore, the present study aims to explore the effects of dietary protein content and food restriction on the physiology of adult female *Microtus fortis*. Forty animals were randomly divided into four groups and were allowed to acclimatize themselves to the following four regimens: (1) high-protein (20% protein content) and free-feeding diet, HF; (2) high-protein (20% protein content) and restricted to 70% free-feeding diet, HR; (3) low-protein (10% protein content) and free-feeding diet, LF; and (4) low-protein (10% protein content) and restricted to 70% free-feeding diet, LR. After a four-week treatment, body mass, estrous cycle, and fresh weight of the visceral organs (spleen, liver, kidney, and uterus) were determined. Female hormone level (estradiol, progesterone, and follicle stimulation hormone) were also measured using enzyme-linked immunosorbent assay. The results showed the following. First, the influence of food restriction was remarkable. When the food intake was restricted to 70% of the voluntary intake, the body mass significantly decreased,

基金项目:中国科学院知识创新项目(KSCX2-EW-N-05, KSCX2-YW-N-06); 国家自然科学基金项目(30870402)

收稿日期:2011-03-15; **修订日期:**2011-09-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangy@isa.ac.cn

and the estrus period was shortened. Similarly, the fresh weight of the spleen, liver, kidney, and uterus was significantly lessened compared with that of the free-feeding groups. Second, the reduction in the level of protein content in the diet clearly lightened the fresh weight of spleen and liver. However, no significant difference was shown in terms of body mass and fresh weight of the kidney and uterus between the 10% and 20% protein content food group. Third, different protein contents and food-restricted degrees have no effect on the estrus cycle, serum estradiol, progesterone and follicle stimulation hormone level. In addition, an interaction between protein content and food restriction was not observed. In conclusion, the results indicated that when food resources are limited, female *M. frotis* reduced their body mass for basic survival, and accordingly, the fresh weight of their visceral organs was reduced. Compared with food protein content, the amount of food available played an important role in the physiology of adult female *M. frotis*. However, the role of food resources in the regulation of reproductive behavior and seasonal change in *M. frotis* needs further examination.

Key Words: *Microtus fortis*; protein content; food restriction; physiological characteristics

食物资源(包括食物质量和数量)是影响小型哺乳动物存活的主要环境因子^[1]。自然环境中,由于季节交替、环境变更及食物资源的空间分布不均匀性,鼠类经常因食物匮乏而受饥饿胁迫^[2]。

食物中的蛋白质是有机体维持新陈代谢的主要营养物质之一。蛋白的缺乏或摄入不足会导致有机体的形态、行为和生理状态发生变化,从而影响其生长、繁殖与存活。曾有研究显示 5%—10% 的食物蛋白含量是实验大鼠生长和繁殖的阈值^[3]。早期食物蛋白限制使金仓鼠(*Mesocricetus auratus*)仔鼠数目减少,雌性比增加^[4]。此外,摄入的食物量不足亦会引起鼠类生理的变化,限食可使大鼠动情周期延长,繁殖率降低^[5]。当食物量为正常食量的 70% 时,布氏田鼠(*Lasiopodomys brandtii*)和长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)的体重、基础代谢率和非颤抖性产热均显著下降。由此可见,鼠类会在食物资源不理想的情况下调整各项生理状况以适应环境的变化,而这些生理变化进一步影响着动物种群数量,并对种群调节具有重要作用^[6-12]。

东方田鼠(*Microtus fortis*)为田鼠中的大型种^[13],广布于中国 17 个省区,在俄罗斯远东地区、朝鲜和蒙古亦有分布^[14-15]。该鼠生境差异显著,种群年间数量变幅较大^[16]。郭聪、王勇等^[17]研究指出,洞庭湖区东方田鼠具有季节性迁移的特征,其种群数量随之波动,枯水季节在湖滩上生长、繁殖,汛期迁入农田后,种群数量逐月下降,汛后迁回湖滩,种群数量逐渐上升,翌年迁移前数量为最高,种群数量年间变化很大。曾经的研究指出这种大幅的种群数量变化主要受“水位→栖息地”变化的影响,而食物资源在其数量变动中的影响还不清楚。本实验从野生啮齿类生理生态学的角度,以洞庭湖区东方田鼠室内建群种为研究对象,主要检测饲喂不同蛋白食物和不同食物量条件下雌性东方田鼠与繁殖相关的生理变化以及内脏主要代谢器官的变化,进而分析食物条件对其种群变化产生的影响。实验假设:经过四周实验,成年雌性东方田鼠可通过生理的调节,以适应食物资源的变化。由此预测:低蛋白食物和 70% 限食使体重减轻、动情周期延长、雌激素含量下降、内脏器官湿重减轻。

1 材料与方法

1.1 实验用动物

实验用鼠为 2009 年在湖南省洞庭湖区湖滩捕获的东方田鼠长江亚种的室内建群种的后代。实验前检查成年雌性东方田鼠的动情周期,随机选取动情周期正常的个体 40 只,每只单独饲养于 37 cm × 27 cm × 17 cm 的塑料饲养笼中,以灭菌的锯末屑为巢垫物,饲养温度保持在 18—22 ℃,光周期为 14 L:10 D。实验前所有试鼠均喂以充足的标准鼠饲料和饮水,适应两周。根据我所配制的东方田鼠专用颗粒饲料^[18]的蛋白水平检测,蛋白含量 ≥ 20% 时既能满足东方田鼠生长的营养需求又有利于其繁殖。所以本实验中高蛋白食物即选择标准鼠饲料(湖南斯莱克景达实验动物有限公司生产,粗蛋白 20%,粗脂肪 4.8%,热值 17.1%),低蛋白饲料的蛋白含量参考陈竞峰等^[19]文献结合东方田鼠洞庭湖区的食物调查设置为 10%,低蛋白饲料的配置为标准鼠饲料原料中减少豆粕等高能蛋白物质的含量,同时增加玉米、麦芽糊精等碳水化合物的含量(粗蛋白 10.09%,

粗脂肪 5.92%, 热值 18.4%)。

1.2 实验分组

按照食物中蛋白质含量和食物量的要求随机平均分为 4 组: 20% 蛋白自由取食组 (HF 组), 20% 蛋白 70% 限食组 (HR 组), 10% 蛋白自由取食组 (LF 组), 10% 蛋白 70% 限食组 (LR 组)。食物量的限制标准参照李兴升等^[1]文献, 限食组的喂食量为正常食量的 70%, 限食期为 4 周。

1.3 检测指标

体重、动情周期、雌二醇 (estradiol, E2)、孕酮 (progesterone, PROG)、卵泡刺激素 (follicle stimulation hormone, FSH)、雌二醇/孕酮 (E2/PROG)、内脏器官 (脾脏、肝脏、肾脏、子宫) 湿重。

1.4 实验方法

实验期间, 每隔 1d 称量小鼠体重。每日 8:00 和 20:00 各做阴道脱落细胞涂片 1 次。暴露小鼠阴道后, 用蘸有生理盐水的无菌小棉签在阴道侧壁上 1/3 处轻轻刮取分泌物少许, 薄而均匀地涂于载玻片上, 以 0.5% 的碱性美兰溶液染色 10 min, 蒸馏水轻轻洗去浮色, 待干后用普通光学显微镜镜检^[20]。根据有核上皮细胞、无核角化细胞和白细胞的形态比例变化情况来确定该鼠的动情周期状态。

激素测定: 限食实验结束时, 涂片观察动情周期, 均在小鼠的动情前期眼眶取全血, 常温下放置 1 h 后在 4 °C 下以 10000 r/min 离心 10 min。离心完毕取上层血清, 置于 1.5 mL 的离心管中 -20 °C 保存, 酶联免疫法测小鼠血清中的雌二醇、孕酮和卵泡刺激素的含量。酶联免疫试剂盒均购自上海越研生物科技有限公司。

内脏器官湿重: 眼眶取血后, 解剖腹腔, 剥离出脾脏、肝脏、肾脏、子宫, 擦除血迹, 用精确度 0.001 g 的天平称重, 记录各器官湿重。

1.5 统计分析

数据均采用 SPSS18.0 统计软件进行, 采用重复测量法分析实验过程中的体重变化, 动情周期、激素含量采用双因素 (蛋白×限食) 方差分析, 内脏器官湿重用协方差分析处理。数据均以平均值±标准差 (Mean±SD) 形式表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 食物蛋白含量和限食对雌性成年东方田鼠体重的影响

采用不同蛋白含量的食物和限食水平来喂食雌性成年东方田鼠, 隔天称量体重, 结果见图 1。

食物蛋白含量对体重无影响 ($F = 0.042$, $P > 0.05$), 而限食则表现出了显著差异 ($F = 36.992$, $P < 0.05$): 20% 蛋白条件下, 限食组体重从第 13 天开始显著低于自由取食组 ($F = 14.198$, $P < 0.01$), 实验结束时 HF 组体重增加了 3.57%, HR 组体重减少了 8.85%; 在 10% 蛋白条件下, 限食组从第 9 天开始体重显著低于自由取食组 ($F = 12.324$, $P < 0.05$), 实验结束时 LF 组体重增加了 1.16%, LR 组体重减少了 14.9%。蛋白和限食两因素对体重无交互作用 ($F = 0.109$, $P > 0.05$)。

2.2 食物蛋白含量和限食对雌性成年东方田鼠动情周期的影响

采用不同蛋白含量的食物和限食水平来雌性成年喂食东方田鼠, 每日 8:00 和 20:00 各做阴道脱落细胞涂片一次观察动情周期变化, 结果见表 1。蛋白水平对动情期影响不显著 ($F = 0.104$, $P > 0.05$), 而 70% 限食组的动情期显著短于自由取食组 ($F = 139.7$, $P < 0.05$), 蛋白和限食对其交互作用显著 ($F = 0.416$, $P > 0.05$), 而整个动情周期的周期长未表现出显著差异 ($F = 0.393$, $P > 0.05$)。

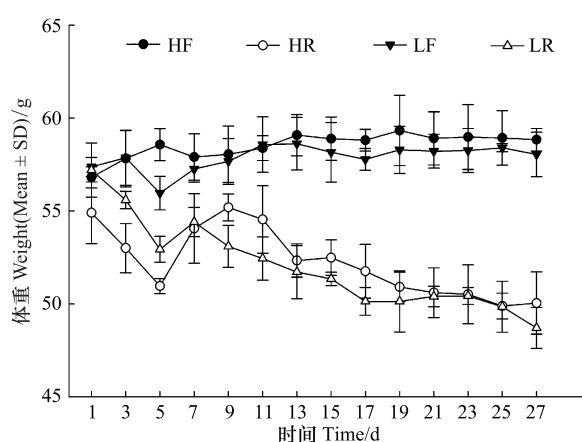


图 1 各实验组体重变化情况

Fig. 1 The weight change of different groups

表 1 蛋白因素和限食因素对雌性东方田鼠动情周期的影响

Table 1 Effects of dietary protein content and food restriction on oestrous cycle of female <i>Microtus fortis</i>			
蛋白含量 Protein content	限食水平 Food restriction	指标 Index ($\bar{X}\pm\text{SD}$)	
		动情期 Estrus/h	动情周期 Oestrous cycle/h
20% 蛋白含量 20% protein content	自由取食 Free-feeding diet	226.6 $\pm$ 5.0	131.5 $\pm$ 14.6
	限食 70% 70% of free-feeding diet	22.7 $\pm$ 6.3	137.0 $\pm$ 19.6
10% 蛋白含量 10% protein content	自由取食 Free-feeding diet	27.3 $\pm$ 7.2	139.2 $\pm$ 15.1
	限食 70% 70% of free-feeding diet	20.8 $\pm$ 3.2	134.4 $\pm$ 16.8

2.3 食物蛋白含量和限食对雌性成年东方田鼠雌二醇(E2)、孕酮(PROG)和卵泡刺激素(FSH)的影响

限食实验结束时,用酶联免疫法测雌鼠血清中的 E2、PROG、FSH 的含量,结果分别见图 2、图 3、图 4。食物蛋白含量对东方田鼠血清中 E2、PROG、FSH 含量不产生影响($F=1.553, P>0.05$; $F=0.546, P>0.05$; $F=1.260, P>0.05$),同样发现食物量的限制对 E2、PROG、FSH 的影响也不显著,两因素亦无交互作用($F=0.000, P>0.05$; $F=1.853, P>0.05$; $F=0.049, P>0.05$)。由于 3 种雌激素的含量变化不显著,为了进一步反映雌性动物卵巢、子宫、阴道等器官的正常与否,实验分析了雌二醇/孕酮(E2/PROG)的比值情况,蛋白含量对 E2/PROG 值无影响($F=0.613, P>0.05$),虽然 70% 限食组的 E2/PROG 值小于自由取食组,但变化也不显著($F=0.000, P>0.05$),见图 5。

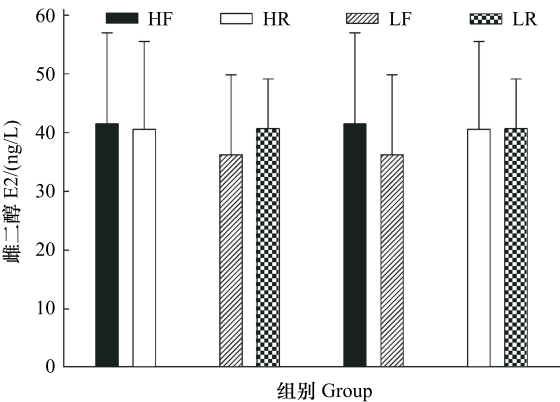


图 2 各实验组雌二醇水平的比较 (Mean±SD)
Fig. 2 Comparison of E2 levels in different groups

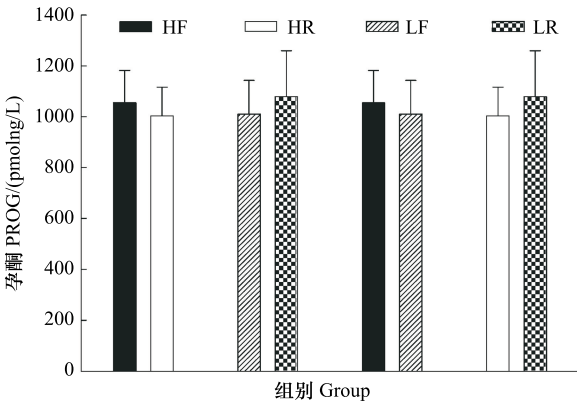


图 3 各实验组孕酮水平的比较 (Mean ±SD)
Fig. 3 Comparison of PROG levels in different groups

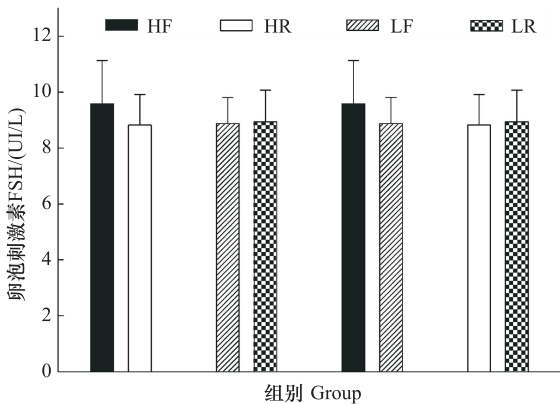


图 4 各实验组卵泡刺激素水平的比较 (Mean±SD)
Fig. 4 Comparison of FSH levels in different groups

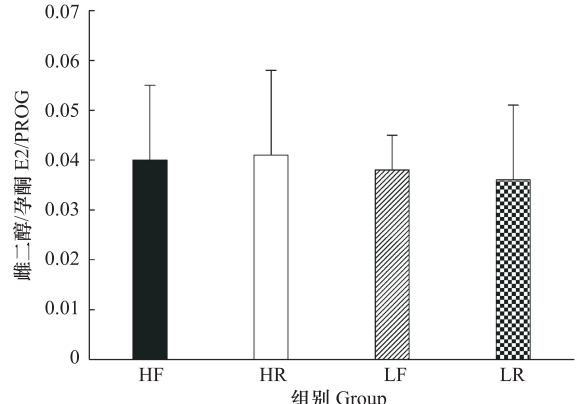


图 5 各实验组雌二醇/孕酮的比值 (Mean±SD)
Fig. 5 Ratio of E2/PROG in different groups

2.4 食物蛋白含量和限食对雌性成年东方田鼠脾脏、肝脏、肾脏、子宫重量的影响

实验结束后解剖腹腔,剥离出脾脏、肝脏、肾脏和子宫,称取其湿重,结果见表2。经协方差消除体重影响后发现,食物蛋白含量和限食显著影响脾脏湿重(蛋白含量: $F = 5.007$, $P < 0.05$; 限食: $F = 17.708$, $P < 0.01$)和肝脏湿重(蛋白含量: $F = 3.244$, $P < 0.05$; 限食: $F = 7.027$, $P < 0.05$),但蛋白和限食无交互作用(脾脏: $F = 0.924$, $P > 0.05$; 肝脏: $F = 0.376$, $P > 0.05$)。HR组、LR组的脾脏湿重分别比HF组、LF组高出9.7%、18.4%,同样,对于肝脏湿重,HR组、LR组分别比HF组、LF组高出18.1%、27.8%,差异均显著($P < 0.05$, $P < 0.05$)。自由取食组的东方田鼠的肾脏湿重、子宫湿重显著高于70%限食组(肾脏: $F = 7.027$, $P < 0.05$; 子宫: $F = 9.370$, $P < 0.01$),而蛋白含量对其影响不显著(肾脏: $F = 0.413$, $P > 0.05$; 子宫: $F = 0.166$, $P > 0.05$),蛋白和限食亦无交互作用。

表2 各组实验鼠内脏器官湿重的比较

Table 2 Effects of dietary protein content and food restriction on fresh weight of visceral organ

蛋白含量 Protein content	限食水平 Food restriction	指标 Index ($\bar{X} \pm SD$)			
		脾脏 Spleen/g	肝脏 Liver/g	肾脏 Kidney/g	子宫 Uterus/g
20% 蛋白	自由取食 Free-feeding diet	0.064 ± 0.091	3.119 ± 0.649	0.537 ± 0.059	0.124 ± 0.011
20% protein content	限食 70% 70% of free-feeding diet	0.049 ± 0.013	2.553 ± 0.458	0.455 ± 0.053	0.101 ± 0.011
10% 蛋白	自由取食 Free-feeding diet	0.056 ± 0.001	2.968 ± 0.362	0.524 ± 0.040	0.105 ± 0.009
10% protein content	限食 70% 70% of free-feeding diet	0.041 ± 0.007	2.144 ± 0.355	0.378 ± 0.058	0.085 ± 0.024

3 讨论

洞庭湖区的东方田鼠以藎草沼泽地为最佳生境,随着湖水水位的季节变化每年周期性地更换栖息地,冬春(11—5月)枯水期栖息在湖滩草地中,夏秋(6—10月)旺水期则被迫迁居湖滨农田和岗地上,湖水回落时东方田鼠随湖滩裸露而回迁。这些栖息地的植被结构差异很大,该鼠各时期的食物条件亦随之发生显著变化。

本研究以成年雌性东方田鼠为对象展开实验,结果显示食物蛋白含量为10%对体重没有显著影响。这与雄性长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)的研究结果相似,食物蛋白含量高低显著影响幼体组体重,而对成体组无显著作用^[19]。关于食物所需蛋白含量的探索,Harju^[21]曾提出根田鼠(*Microtus oeconomus*)至少需要含有6%粗蛋白的食物才能维持其生长,而黑田鼠(*Microtus agrestis*)则需8%粗蛋白的燕麦食物^[22]。成年雌性东方田鼠对食物中蛋白含量降至10%反应不敏感说明了10%的蛋白含量高于其维持体重的阈值。对于食物量的减少,东方田鼠反应敏感:随着限食时间的延长,70%限食组的体重显著低于自由取食组。体重的显著降低说明当食物量缺乏到一定程度时,饥饿将迫使其动用身体贮存的能量来维持生命活动,作为主要贮能物质的糖元、脂肪等在饥饿过程中不同程度地被消耗。实验中观察到70%限食条件下的东方田鼠毛色暗淡,活动性降低,与大仓鼠(*Tscherskia triton*)60%限食后出现体重下降、毛发粗糙而直立、反应差等状况相一致^[23],这些现象反映出当食物受限时,动物会通过减少活动性来降低能量消耗,以保证基本的生命维持。

对啮齿动物而言,动情周期是评估其繁殖行为的一个重要指标,它可以直接控制啮齿动物的繁殖行为,进而影响种群数量。一些研究认为禁食48 h使大仓鼠动情周期紊乱,动情行为受到抑制^[24],限食和低蛋白食物影响田鼠的阴道口张开并使动情周期缩短^[25],当限食50%—70%时显著影响哺乳动物的繁殖^[26]。而Merry和Holehan^[27]等则指出大鼠从青春开始持续限食并不影响其动情周期,同样樊柏林等^[28]对性发育成熟后的大鼠进行20%和35%的能量限制的实验显示动情周期无显著变化。本研究发现东方田鼠的动情周期对蛋白变化不敏感,但70%限食使东方田鼠动情期缩短,相应地动情间期延长,但整个动情周期长度没有受到影响,由此可见在食物量缺乏时,东方田鼠的动情行为维持下来,但维持在较低水平上。

雌激素促进雌性生殖器官的成熟和第二性征发育并维持其动情周期等功能。E2、PROG、FSH是主要的雌激素。雌激素和孕激素比值的变化,亦能反映雌性动物卵巢、子宫、阴道等器官的正常与否。已有研究表明

动物雌激素含量随食物资源而变动,Dickerman 等^[10]指出在禁食胁迫下金仓鼠卵巢中 E2 和 PROG 分泌减少;60% 限食雌鼠血清中的 E2 含量小于对照组,但差异不显著,大仓鼠 50% 限食时 FSH 和 E2 含量降低而 75% 限食组无显著变化^[29-30]。本文的实验结果显示,蛋白和限食均未影响东方田鼠血清中 E2、PROG、FSH 含量,虽然限食组的雌二醇/孕酮(E2/PROG)的比值低于自由取食组,但差异不显著,这些结果与前面其动情周期受到的影响是相一致的。本实验中的低蛋白食物和限食水平没有对雌性东方田鼠雌激素含量产生显著作用,这暗示了成年雌性东方田鼠的繁殖行为对食物的变化不敏感,同时进一步应证了夏季温光条件和长途迁移体力消耗及种间竞争等因素是东方田鼠在夏季处于繁殖低谷期的主要影响因素加^[17]。这一结果与洞庭湖双退垸内东方田鼠种群夏季繁殖力不减的报道^[31]相印证。由于双退垸的高程优势,鼠群在夏季汛期不会迁出垸内,仅短暂迁移集中至较高区域。此区域内的东方田鼠在夏季仍会保持较高的繁殖强度,与夏季被迫远距离迁入农田的东方田鼠种群繁殖力急剧下降形成鲜明对比,这也是东方田鼠种群在高数量年份极易形成灾害的重要原因。

脾脏属外周免疫器官之一,脾脏重量的改变可反映出免疫系统的变化;肝脏和肾脏是体内新陈代谢的重要器官,而子宫直接关系着动物的生殖。本文的实验结果显示低蛋白和限食均使脾脏湿重显著减轻。与脾脏的变化相似,限食使肝脏、肾脏和子宫湿重低于自由取食组,而食物蛋白含量未影响肾脏湿重和子宫湿重,另一些研究指出食物蛋白含量降为 9% 对成年组雄性长爪沙鼠的脾脏不产生影响^[20],并且大仓鼠限食程度达到 50% 时的脾脏指数显著减轻^[29]。当食物蛋白含量在 0.5%—5% 之间时,大鼠肝脏开始出现异常,肝脏的 DNA 和蛋白合成减少^[32]。由此可见,内脏器官对食物蛋白含量和食物量的要求存在种属差异,与食物蛋白含量相比,可获得的食物量的多少是引起东方田鼠生理变化的主要因素。

综上所述,在食物资源不理想的情况下,雌性东方田鼠通过降低体重来维持基本生存,70% 限食引起了繁殖相关的生理变化以及内脏主要代谢器官重量的改变,而蛋白对其作用不显著。对于东方田鼠这种繁殖周期短、繁殖率高的植食性哺乳动物,栖息地环境发生变化时,食物资源的随之改变可能对其繁殖行为产生影响,从而影响种群数量。实验从食物的蛋白含量和可获得的食物量两方面来考虑对东方田鼠的影响,但局限于探索繁殖相关的生理和一些主要代谢器官的变化。然而自然环境中种群变化的贡献因子很多,如东方田鼠对于食物胁迫表现出的繁殖行为以及母体食物胁迫对子代的出生、成活和生长等的影响,这些问题都需要进一步研究以便揭示和阐明东方田鼠周期性的繁殖变化和种群动态,从而更有力地解释洞庭湖区东方田鼠的季节性、年际间及区域性的暴发成灾规律,同时为农业鼠害灾害预警和防控提供科学依据。

References:

- [1] Li X S, Wang H F, Song Y, Wang D H. Effects of food quality and restriction on weight and heat production in *Lasiopodomys brandtii* and *Meriones unguiculatus*//Proceedings of The 6th Member's Representative Assembly and Symposium of Theriologica Branch of China Zoological Society, 2004: 63-64.
- [2] Liang H, Zhang Z B. Effects of food restriction on physiological conditions of small rodents. *Acta Theriologica Sinica*, 2003, 23(2): 175-182.
- [3] Anthony L E, Edozien J C. Experimental protein and energy deficiencies in the rat. *The Journal of Nutrition*, 1975, 105: 631-648.
- [4] Huck U W, Labov J B, Lisk R D. Food restricting young hamsters (*Mesocricetus auratus*) affects sex ratio and growth of subsequent offspring. *Biology of Reproduction*, 1986, 35(3): 592-598.
- [5] McGuire M K, Littleton A W, Schulze K J, Rasmussen K M. Pre- and postweaning food restrictions interact to determine reproductive success and milk volume in rats. *The Journal of Nutrition*, 1995, 125(9): 2400-2406.
- [6] Lack D L. *The National Regulation of Animal Numbers*. New York: Oxford University Press, 1954: 1-20.
- [7] Batzli G O. The role of nutrition in population cycles of microtine rodents. *Acta Zoologica Fennica*, 1985, 173: 13-17.
- [8] Hill J O, Fried S K, DiGirolamo M. Effects of fasting and restricted refeeding on utilization of ingested energy in rats. *American Journal of Physiology*, 1984, 247(2 Pt 2): R318-R327.
- [9] Totzke U, Fenske M, Hüppop O, Raabe H, Schach N. The influence of fasting on blood and plasma composition of herring gulls (*Larus argentatus*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 1999, 72(4): 426-437.
- [10] Dickerman R W, Li H Y, Wade G N. Decreased availability of metabolic fuels suppresses estrous behavior in Syrian hamsters. *American Journal of Physiology*, 1993, 264(3 Pt 2): R568-R572.
- [11] Hestbeck J B. Population regulation of cyclic mammals: the social fence hypothesis. *Oikos*, 1982, 39(2): 157-163.
- [12] Krebs C J. Population cycles revisited. *Journal of Mammalogy*, 1996, 77(1): 8-24.

- [13] Hu Z J, Wang Y, Guo C, Zhang M W. Research advances in biology and ecology of *Microtus fortis* in China. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(12): 307-312.
- [14] Ma Y. Distribution information of pest rodents in China. Chinese Agricultural Science Bulletin, 1986, (6): 76-82.
- [15] Tan B J. A Systematic List of the Mammals. Beijing: China Medical Science Press, 1992: 219-220.
- [16] Hu Z J, Wang Y, Zhang M W, Guo C. Comparison of the internal organs of *Microtus fortis calamorum* in different habitats. Chinese Journal of Ecology, 2002, 21(5): 5-8.
- [17] Guo C, Wang Y, Chen A G, Li B, Zhang M W, Wu Z J. Studies on the migration of *Microtus fortis* in Dongting lake area. Acta Theriologica Sinica, 1997, 17(4): 279-286.
- [18] Wu Z J. Growth and development of Yangtze vole (*Microtus fortis calamorum*) in Dongting Lake area. Chinese Journal of Zoology, 1996, 31(5): 26-30.
- [19] Chen J F, Zhong W Q, Liu W, Li Y L, Wang D H. Effects of dietary protein content on social behavior and some physiological properties in male Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*). Acta Theriologica Sinica, 2007, 27(3): 234-242.
- [20] Song C M, Wang G Y, Yue H, Ji E S, Feng J K, Li Q, Wang N, Du H L. Effect of Wuji baifeng oral liquid on androgen induced sterile rats. Chinese Traditional Patent Medicine, 2007, 29(8): 1212-1214.
- [21] Harju A. Effect of birch (*Betula pendula*) bark and food protein level on root voles (*Microtus oeconomus*): I. Food consumption, growth, and mortality. Journal of Chemical Ecology, 1996, 22(4): 709-717.
- [22] Spears N, Clarke J R. Effect of nutrition, temperature and photoperiod on the rate of sexual maturation of the field vole (*Microtus agrestis*). Journal of Reproduction and Fertility, 1987, 80(1): 175-181.
- [23] Zhang J J, Liang H, Zhang Z B. Influence of food restriction on mate choice in the rat-like hamster (*Cricetulus triton*). Chinese Journal of Zoology, 2003, 3(3): 33-37.
- [24] Morin L P. Environment and hamster reproduction: responses to phase-specific starvation during estrous cycle. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 1986, 251(4 Pt 2): R663-R669.
- [25] Han E S, Evans T R, Shu J H, Lee S, Nelson J F. Food restriction enhances endogenous and corticotropin-induced plasma elevations of free but not total corticosterone throughout life in rats. The Journal of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 2001, 56A(9): B391-B397.
- [26] Woodside B, Jans J E. Role of the nutritional status of the litter and length and frequency of mother-litter contact bouts in prolonging lactational diestrus in rats. Hormones and Behavior, 1995, 29(2): 154-176.
- [27] Merry B G, Holehan A M. Onset of puberty and duration of fertility in rats fed a restricted diet. Journal of Reproduction and Fertility, 1979, 57(2): 253-259.
- [28] Fan B L, Sun X F, Wang J Y, Zhang X P. Effect of dietary restriction on reproduction in rats. Chinese Journal of Public Health, 1997, 26(5): 327-329.
- [29] Liang H, Zhang Z B. Food restriction affect physiological of F1 and F2 of rat-like hamster (*Cricetulus triton*) // Proceedings of The 6th Member's Representative Assembly & Symposium of Theriologica Branch of China Zoological Society, 2004:108-110.
- [30] Liang H, Zhang Z B. Food restriction affects reproduction and survival of F1 and F2 offspring of Rat-like hamster (*Cricetulus triton*). Physiology and Behavior, 2006, 87(3): 607-613.
- [31] Zhang M W, Wang Y, Li B, Huang H, Chen J, Han L L. Reproduction characteristics of striped field mouse (*Apodemus agrarius*) and Yangtze voles (*Microtus fortis*) in the polder of return farmland back into lake in Dongting Lake region. Acta Theriologica Sinica, 2009, 29(4): 396-405.
- [32] Anthony L E, Edozien J C. Experimental protein and energy deficiencies in the rat. The Journal of Nutrition, 1975, 105: 631-648.

参考文献:

- [1] 李兴升, 王海芳, 宋杨, 王德华. 食物质量和限食对布氏田鼠和长爪沙鼠体重和产热的影响//中国动物学会兽类学分会第六届会员代表大会暨学术讨论会论文摘要集, 2004: 63-64.
- [2] 梁虹, 张知彬. 食物限制对鼠类生理状况的影响. 兽类学报, 2003, 23(2): 175-182.
- [13] 胡忠军, 王勇, 郭聪, 张美文. 中国东方田鼠生物生态学研究进展. 中国农学通报, 2006, 2(12): 30-312.
- [14] 马勇. 中国有害啮齿动物分布资料. 中国农学通报, 1986, (6): 76-82.
- [15] 谭邦杰. 哺乳动物分类名录. 北京: 中国医药科技出版社, 1992, 219-220.
- [16] 胡忠军, 王勇, 张美文, 郭聪. 不同生活条件下东方田鼠内脏器官比较. 生态学杂志, 2002, 21(5): 5-8.
- [17] 郭聪, 王勇, 陈安国, 李波, 张美文, 武正军. 洞庭湖区东方田鼠迁移的研究. 兽类学报, 1997, 17(4): 279-286.
- [18] 武正军. 东方田鼠长江亚种(*Microtus fortis calamorum*)的生长与发育. 生态学杂志, 1996, 31(5): 26-30.
- [19] 陈竞峰, 钟文琴, 刘伟, 李玉梁, 王德华. 食物蛋白含量对雄性长爪沙鼠社会行为和某些生理特征的影响. 兽类学报, 2007, 27(3): 234-242.
- [20] 宋翠森, 王桂英, 岳华, 吉恩生, 冯敬坤, 李乾, 王娜, 杜慧兰. 乌鸡白凤口服液对无排卵大鼠卵巢的影响. 中成药, 2007, 29(8): 1212-1214.
- [23] 张建军, 梁虹, 张知彬. 食物限制对异性大鼠气味选择的影响. 动物学杂志, 2003, (3): 33-37.
- [28] 樊柏林, 孙秀发, 王继尧, 章锡平. 限制热能摄入对大鼠生殖功能的影响. 中国公共卫生学报, 1997, 26(5): 327-329.
- [29] 梁虹, 张知彬. 食物限制对大鼠 F1, F2 代的生理胁迫作用//中国动物学会兽类学分会第六届会员代表大会暨学术讨论会论文摘要集, 2004: 108-110.
- [31] 张美文, 王勇, 李波, 黄璜, 陈剑, 韩立亮. 洞庭湖不同退田还湖类型区东方田鼠和黑线姬鼠的繁殖特性. 兽类学报, 2009, 29(4): 396-405.

CONTENTS

The community structure of endophytic bacteria in different parts of huanglongbing-affected citrus plants	LIU Bo, ZHENG Xuefang, SUN Daguang, et al (7325)
A research on the response of the radial growth of <i>Pinus koraiensis</i> to future climate change in the XiaoXing'AnLing	YIN Hong, WANG Jing, LIU Hongbin, et al (7343)
Efficiency and kinetic process of nitrogen removal in a subsurface wastewater infiltration system (SWIS)	LI Haibo, LI Yinghua, SUN Tieheng, et al (7351)
Designing nature reserve systems based on ecosystem services in Hainan Island	XIAO Yi, CHEN Shengbin, ZHANG Lu, et al (7357)
Assessing ecological services value of herbivorous wild animals in Changtang grassland: a case study of Tibetan antelope	LU Chunxia, LIU Ming, FENG Yue, et al (7370)
Spatial characteristics analysis of ecological system service value in QianJiang City of Hubei Province	XU Beishen, ZHOU Yong, XU Li, et al (7379)
Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan	LI Ningyun, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (7388)
Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation based on connectivity: a case study on HuangHuaiHai Region, China ...	SONG Xiaolong, LI Xiaowen, ZHANG Mingxiang, et al (7397)
The potential of carbon sink in alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau	HAN Daorui, CAO Guangmin, GUO Xiaowei, et al (7408)
The relations of spectrum reflectance with inhomogeneous factors and albedo parameterization ...	ZHANG Jie, ZHANG Qiang (7418)
Groundwater ecological sensitivity assessment in the lower Liaohe River Plain based on GIS technique	SUN Caizhi, YANG Lei, HU Dongling (7428)
Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (7441)
Investigation and analysis on situation of ecotourism development in protected areas of China	ZHONG Linsheng, WANG Jing (7450)
Handicapping male-cheaters by stable mate relationship in yellow-bellied prinia, <i>Prinia flaviiventris</i>	CHU Fuyin, TANG Sixian, PAN Hujun, et al (7458)
Effects of dietary protein content and food restriction on the physiological characteristics of female <i>Microtus fortis</i>	ZHU Junxia, WANG Yong, ZHANG Meiwen, et al (7464)
Predator-prey system with positive effect for prey	QI Jun, SU Zhiyong (7471)
Volatile constituents of four moraceous host plants of <i>Apriona germari</i>	ZHANG Lin, WANG Baode, XU Zhichun (7479)
Relationship between adult emergence of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) and temperature and relative humidity	YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, WANG Bao, et al (7486)
Nest site selection and reproductive success of <i>Parus varius</i> in man-made nest boxes	LI Le, WAN Dongmei, LIU He, et al (7492)
A study on bio-ecology of the stopover site of waders within China's Yalu River estuary wetlands	SONG Lun, YANG Guojun, LI Ai, et al (7500)
The spatial-temporal change variations of temperature in Xilinguole steppe zone	WANG Haimei, LI Zhenghai, WU Lan, et al (7511)
The growth and photosynthetic responses of <i>Cleyera japonica</i> Thunb. seedlings to UV-B radiation stress	LAN Chunjian, JIANG Hong, HUANG Meiling, et al (7516)
Photosynthesis-transpiration coupling mechanism of wheat and maize during daily variation	ZHAO Fenghua, WANG Qiufeng, WANG Jianlin, et al (7526)
Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of <i>Nitratia Tangutorum</i>	GONG Guoli, CHEN Hui, DUAN Deyu (7533)
Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter	YONG Shiquan, TONG Chuan, ZHUANG Chenhui, et al (7542)
Correlation between ecological factors and ginsenosides	XIE Caixiang, SUO Fengmei, JIA Guanglin, et al (7551)
Effects of pyrene on low molecule weight organic compounds in the root exudates of ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.)	XIE Xiaomei, LIAO Min, YANG Jing (7564)
Isolation of phosphate solubilizing fungus (<i>Aspergillus niger</i>) from <i>Caragana</i> rhizosphere and its potential for phosphate solubili- zation	ZHANG Lizhen, FAN Jingjing, NIU Wei, et al (7571)
Effect of raindrop impact on nutrient losses under different near -surface soil hydraulic conditions on black soil slope	AN Juan, ZHENG Fenli, LI Guifang, et al (7579)
Emergy analysis of coal-fired power generation system and construction of new emergy indices	LOU Bo, XU Yi, LIN Zhenguan (7591)
Review and Monograph	
The impact of forest vegetation change on water yield in the subalpine region of southwestern China	ZHANG Yuandong, LIU Shirong, et al (7601)
Reviews on spatial pattern and sand-binding effect of patch vegetation in arid desert area	HU Guanglu, ZHAO Wenzhi, WANG Gang (7609)
Sustainable management on pests by agro-biodiversity	GAO Dong, HE Xiahong, ZHU Shusheng (7617)
Scientific Note	
Characteristics of organic carbon and nutrient content in five soil types in Honghu wetland ecosystems	LIU Gang, SHEN Shouyun, YAN Wende, et al (7625)
Effects of cypermethrin and deltamethrin on reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	HUANG Lin, LIU Changli, WEI Chuanbao, et al (7632)

《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
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 24 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 24 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@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. 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