

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **2013**

中国生态学会
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33卷第19期

2013年10月 (半月刊)

目次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 马凤娇, 刘金铜, A. Egrinya Eneji (5963)
- 非人灵长类性打搅行为研究进展 杨 斌, 王程亮, 纪维红, 等 (5973)
- 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 韩群花, 郭 聪, 张美文 (5981)
- 食物链长度远因与近因研究进展综述 王玉玉, 徐 军, 雷光春 (5990)
- AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 罗巧玉, 王晓娟, 李媛媛, 等 (5997)
- 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 薛建福, 赵 鑫, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, 等 (6006)
- 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 张明春, 黄 炎, 李德生, 等 (6014)
- 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 赵玉泽, 王志臣, 徐基良, 等 (6021)
- 风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 杨志宏, 吴庆明, 董海燕, 等 (6028)
- 白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 李艳红, 关进科, 黎大勇, 等 (6035)
- 生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 罗媛媛, 刘金亮, 黄杰灵, 等 (6041)
- 基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究
..... 吴文珊, 陈友铃, 孙伶俐, 等 (6049)
- 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 陈友铃, 孙伶俐, 武蕾蕾, 等 (6058)
- 镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 王树凤, 施翔, 孙海菁, 等 (6065)
- 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响
..... 杨延杰, 王晓伟, 赵 康, 等 (6074)
- 极端干旱区多枝怪柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 马晓东, 王明慧, 李卫红, 等 (6081)
- 贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 王荣荣, 夏江宝, 杨吉华, 等 (6088)
- 陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 谭雪红, 郭小平, 赵廷宁 (6097)
- 不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 叶功富, 张尚炬, 张立华, 等 (6107)
- 珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 裴男才, 陈步峰, 邹志谨, 等 (6114)
- AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 宋成军, 曲来叶, 马克明, 等 (6121)
- 盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 周家超, 付婷婷, 赵维维, 等 (6129)
- CO₂ 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 师志冰, 周 勇, 李 夏, 等 (6135)
- 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 孟 焕, 王雪宏, 佟守正, 等 (6142)
- 镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 张 雯, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (6147)
- 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 罗应华, 孙冬婧, 林建勇, 等 (6154)
- 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例
..... 邱广龙, 范航清, 李宗善, 等 (6163)
- 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 尹瑞平, 吴永胜, 张 欣, 等 (6173)
- 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 韩 路, 席琳乔, 王家强, 等 (6181)
- 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 宗 宁, 石培礼, 蒋 婧, 等 (6191)
- 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 杨 帆, 王志春, 王云贺, 等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM _{2.5} 浓度及水溶性离子特征	肖以华, 李 炯, 旷远文, 等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局	汪振华, 赵 静, 王 凯, 等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化	陈云龙, 单秀娟, 周志鹏, 等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态	李 娜, 张雪萍, 张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性	陈友铃, 陈晓倩, 吴文珊, 等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估	陈 尚, 任大川, 夏 涛, 等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标	郭子良, 崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响	易 扬, 信忠保, 覃云斌, 等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性	王红梅, 王仲良, 王 堃, 等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性	俄有浩, 霍治国, 马玉平, 等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应	盛茂银, 刘 洋, 熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响	贺 伟, 布仁仓, 刘宏娟, 等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性	朱剑兴, 王秋风, 何念鹏, 等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应	马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价	秦鱼生, 喻 华, 冯文强, 等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 马军杰, 张 禹, 等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用	林 峰, 陈 敏, 杨伟锋, 等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子	石洪华, 王晓丽, 王 媛, 等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响	王 丹, 吕瑜良, 徐 丽, 等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性	孟翔翔, 狄晓艳, 王孟本, 等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例	文 雯, 周宝同, 汪亚峰, 等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例	施晓清, 李笑诺, 杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析	祁新华, 叶士琳, 程 煜, 等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化	倪 尧, 岳文泽, 张云堂, 等 (6418)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 464 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 55 * 2013-10



封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区, 它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物, 它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖, 并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是, 生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明, 凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一, 在水分极度匮乏的荒漠生态系统, 它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

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

DOI: 10.5846/stxb201306081467

韩群花, 郭聪, 张美文. 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响. 生态学报, 2013, 33(19): 5981-5989.

Han Q H, Guo C, Zhang M W. Density-dependent effect on reproduction of rodents: a review. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 5981-5989.

密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响

韩群花^{1,2}, 郭 聪², 张美文^{1,*}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 亚热带农业生态过程重点实验室, 洞庭湖湿地生态系统研究站, 长沙 410125;

2. 四川大学生命科学学院, 成都 610064)

摘要: 啮齿动物种群动态调节是生态学中关键的问题之一, 它与制定鼠害防治策略密切相关。目前, 国内外学者已在相关领域取得大量的研究成果。整理了密度制约效应对啮齿动物繁殖影响的文献, 包括在性器官、性成熟、性周期、繁殖指数、激素和行为的调节作用, 同时分析该领域的研究途径及研究前景, 旨在为今后的研究提供更多的思路。

关键词: 密度制约; 啮齿动物; 繁殖

Density-dependent effect on reproduction of rodents: a review

HAN Qunhua^{1,2}, GUO Cong², ZHANG Meiwen^{1,*}

1 Dongting Lake Station for Wetland Ecosystem Research, Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

2 College of Life Science, Sichuan University, Chendu 610064, China

Abstract: The regulation of population dynamics in rodent, which is closely relevant to strategy-making of pest-controlling, is one of critical issues in ecology. Scholars of domestic and overseas have obtained significant achievements in related field at present. This paper summarized the research progresses of density-dependent on the reproduction of rodents, including sexual organs, sexual maturation, estrus cycle, reproduction index, hormone, and behavior regulation, and also, introduced the research methods and analyzed the prospects of the research area, aimed to provide some useful ideas for the future study.

Key Words: density-dependent; rodents; reproduction

啮齿动物包括哺乳纲中的啮齿目和兔形目的动物, 作为初级消费者, 对生态系统中能量流动和物质循环有着举足轻重的作用。它们分布广, 数量多, 繁殖快, 适应能力强, 且不少啮齿动物种群数量具有大起大落的特征^[1]。在种群暴发时, 有许多种类能造成农、林、牧、畜业的巨大经济损失、生态损失以及疫病传播等问题。了解影响其种群数量波动的原因, 对揭示种群动态机制是有利和必要的, 也是寻找控制有害种类的有效途径, 为制定有效的鼠害控制措施提供科学依据。其中, 密度制约效应在啮齿动物种群调节中具有重要的作用^[2-3]。本文基于国内外现有的研究现状, 分析了密度制约效应对啮齿动物繁殖的重要影响, 总结了其研究方法并对其研究前景进行了展望。

1 密度制约含义及研究意义

种群动态和种群调节是动物生态学的重要问题, 它是种群数量预测预报的基础。影响动物种群波动的因素有很多, 如食物、栖息地或空间、气候、竞争、疾病、天敌和人类活动等, 这些因素可分为密度制约性 (density-dependent) 和非密度制约性 (density-independent)。在种内因素中, 密度是其中最为重要的因素之一。它可以影响到种群的出生率、死亡率、生长、性成熟、迁入和迁出等各种特征和参数, 许多种群参数随着密度的变化而变化。密度制约因素 (食物、栖息地或空间、竞争、疾病、天敌等) 通过密度反馈改变种群的生殖、死亡或扩散率, 从而改变种群的数量^[1]。很多研究已证明啮齿类具有明显的密度负反馈调

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31170396); 中国科学院知识创新重要方向资助项目 (KSCX-EW-N-05); 国家科技支撑计划资助项目 (2012BAD19B02)

收稿日期: 2013-06-08; **修订日期:** 2013-07-23

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

节机制,如草原田鼠(*Microtus pennsylvanicus*)^[4]、小家鼠(*Mus musculus*)^[5]、黑田鼠(*Microtus agrestis*)^[6]、北极地松鼠(*Spermophilus parryi plesius*)^[7]、褐家鼠(*Rattus norvegicus*)^[8]、子午沙鼠(*Meriones meridianus*)^[9]等。密度制约的生态学机制是主要通过社群压力(social stress)^[10]、繁殖投入(reproductive effort)^[3]以及社会性限制(social constraint)^[11-12]来调节的,因此,密度在种群繁殖能力中起着重要的调节作用。

2 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响

繁殖是影响动物种群数量最重要的因素之一,是种群中补充新增个体的重要来源。而影响繁殖的因素是多方面综合作用的结果,包括内因和外因。内部因子可从种群密度和种群结构两方面反映,种群结构(如性比和年龄结构)可以决定种群的繁殖能力,而根本性的因素是种群密度,即密度效应的作用。国外已经有许多工作认证了种群密度对于啮齿动物的繁殖密切相关^[2-3,6,8,13-15]。国内也已进行过一些探讨^[9,16-19],具体反映在对性成熟、性器官、性周期、繁殖指数、激素和行为等调节上。

2.1 性器官

密度的刺激可影响垂体的分泌活动,密度增大时,社群压力增加,这种压力刺激对垂体的生长激素和促性腺激素的分泌活动产生抑制作用,从而使生殖器官延缓或抑制。在高密度条件下,啮齿动物雌雄两性的性成熟延迟可能是限制繁殖活动最主要的因素之一。许多研究已经表明,在小家鼠(*M. musculus*)、田鼠(*voles*)的青春期开始时间(onset of puberty)可以被成年个体所释放的化学信号所抑制或促进^[15,20]。

对于雌性而言,在高密度条件下,表现为阴道口关闭,子宫萎缩或发育不正常。Whitten^[21]曾报道,全部由雌鼠组成的群体内,雌鼠的卵巢明显比单独饲养的雌鼠轻。Drickamer^[22]对欧鼯(*Myodes glareolus*)的研究表明,群养雌鼠子宫重量和囊状卵泡(Graafian follicles)数量比单独饲养的雌鼠显著降低。另外,对ICR/Alb雌小鼠的研究也发现,群养雌鼠能释放使性成熟延迟的信息素,当雌鼠个体接受此信息素3 d以上,其性器官发育明显延迟^[20]。Féron和Gheusi^[23]观察发现群养雌性匈牙利小家鼠(*Mus spicilegus*)的阴道口一直处于关闭状态,而在单独饲养的雌鼠中很少发现。杨荷芳等^[24]对布氏田鼠(*Lasiodomys brandtii*)自然种群的研究发现,按相对年龄组比较,雌鼠卵巢重量与密度之间在成体I组中呈现十分显著的相反关系。高密度条件下的雄性同样表现为性成熟延缓或完全被抑制、雄性精子出现延缓和副性腺器官重量减轻。McKinney和Desjardins^[25]、曾绍祥等^[16]发现,小家鼠(*M. musculus*)在高密度条件下,生殖发育受抑,具体表现为睾丸功能障碍以及生殖腺重量减轻,黑田鼠(*M. agrestis*)则表现为曲细精管发育减慢^[26]。在室内控制条件下,李凤华等^[27]测定不同密度梯度对布氏田鼠(*L. brandtii*)的生长及免疫指标的研究也表明,随着密度的升高,雄性布氏田鼠的睾丸指数逐渐降低。野外自然种群也有同样的表现趋势。如黑线仓鼠(*Cricetulus barabensis*)自然种群,随着种群密度的增加,睾丸重量逐渐下降,两者之间在亚成体雄鼠呈负相关^[28]。野外高密度条件下布氏田鼠(*L. brandtii*)种群生殖腺较轻,繁殖强度受到抑制,雄鼠睾丸下降率、贮精囊肥大率和睾丸长度都小于低密度种群,而且繁殖季节结束时间早于低密度种群^[29]。雄性亚成体组布氏田鼠的睾丸重量与密度亦呈现显著的负相关关系^[24]。此外,朱盛侃和陈安国^[5]研究新疆小家鼠(*M. musculus*)种群动态研究时,发现该鼠具有非常典型的密度负反馈机制,更本质的特点是其自身的生理变化,如高密度情况下,胸腺缩小、肾上腺增大和性腺萎缩,生理机能随之衰退等等。这些现象表明,种群密度的差异能引起生殖腺的变异,即密度愈高,生殖腺愈轻。

2.2 性成熟

密度的调节作用首先反映在对繁殖的调节上,而对于大多数小型啮齿动物而言,雌鼠性成熟程度、状况又成为反映种群繁殖强度的重要指标之一,并被认为是决定种群数量的重要因素^[3]。有研究报道,性成熟时间与体重增长之间有密切关系,只有达到一定体重时,才达性成熟^[2]。如高密度组内,雌小白鼠性成熟时间与体重增长率之间存在一定线性关系,两者呈显著或非常显著正相关关系^[17]。杨荷芳和王淑卿^[17]对小白鼠的研究还显示,高密度组内性成熟率明显迟于低密度组,高密度有制止性成熟的作用。Ostfeld和Canham^[13]指出,高种群密度对个体的生长繁殖有直接的影响,具体表现在繁殖季节缩短、新生率下降以及性成熟延迟。布氏田鼠(*L. brandtii*)在高密度条件下种群的性成熟速度较慢^[24]。高密度条件下的北极地松鼠(*S. parryi plesius*)^[7]、长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)^[11]、橙腹田鼠(*Microtus ochrogaster*)^[14]、欧鼯(*M. glareolus*)^[22]、棕背鼯(*Myodes rufocanus*)^[30]等雌鼠的性成熟较低密度种群有可能延迟。这些都说明在自然种群中,雌鼠性成熟率与密度呈负相关关系^[2]。Ergon等^[6]在野外长达9a的研究表明,当黑田鼠(*M. agrestis*)处于密度高峰期时,怀孕雌鼠之间接触频繁,形成了压力环境,影响雌鼠的激素活性以及胚胎的发育,而这可导致性成熟率降低。同样,欧鼯(*M. glareolus*)有3—4a种群周期,最高密度也可导致性成熟速度减慢^[31]。而且由于高密度种群引起的母体社群应激对子代免疫力有抑制作用,从而影响子代表型或生活史特征^[19]。

2.3 性周期

在人类中,压力对男女性都有负面的生理和行为影响,对于女性来说,可能会引起闭经或者不正常的月经周期^[32]。在动物中,如成年鼠经受捏尾巴、电休克以及冷刺激等不可预知的压力源时,雌鼠的动情周期状态则一直处于间期^[33]。种群密度属于压力源之一,高密度环境下的种群,成年雌鼠可能表现出不正常的动情周期(间期—前期—中期—后期)或者动情周期延长,停止怀孕以及出现假妊娠的现象^[3,21,34]。Whitten^[21]指出,当同性别雌鼠($n=30$)一起饲养时,动情间期时间增加,具体表现为其

中一些雌鼠的卵巢重量、阴道角化细胞数和卵巢黄体素减少。Ryan 和 Schwartz 报道^[34], 当同性别雌性鼠(white Swiss mice, $n=20$)一起饲养时, 73%—83% 的雌鼠表现出连续性的假孕现象; 当雌鼠数增加至 30 或更多时, 出现假孕的雌鼠比率则达到了 95%—99%。Champlin^[35]在室内观察不同密度对 C57BL/6 和 BALB/Ci 两个品系雌小白鼠动情周期的影响, 结果表明种群密度的增加导致正常动情周期(4—5 d)发生紊乱, 动情期(前期—中期—后期)受抑, 且动情周期的频率(oestrous cycle frequency)减少。杨荷芳和王淑卿^[17]研究不同性比对雌小白鼠动情周期的影响时发现, 高密度对雌鼠动情周期有延缓作用。同样, 动情周期资料亦表明偏雌性比组有所延长, 偏雄性比组有所缩短。此外, 该实验也发现, 雌鼠动情期受抑亦出现在拥挤混合群, 而对雌鼠优势群作用更大。这是因为, 室内和野外种群的雌鼠, 由于同一环境中其它雌鼠尿液中的化学信息素抑制动情期的到来, 从而延长动情周期^[20, 36]。

2.4 繁殖指数

种群压力能使啮齿动物的繁殖受到抑制。在艾鼬(*Mustela eversmanni*)气味条件下, 82%的配对根田鼠(*Microtus oeconomus*)产生显著的繁殖迟滞, 其雄体附睾精子数、雌体卵巢指数及胚胎重量极显著地减低^[37]。Agrell 等^[38]在野外条件下, 对黑田鼠(*M. agrestis*)的研究发现, 由于种群密度增大, 种内竞争, 环境压力增加, 导致饮食发生改变, 胎仔数量和质量、存活率、性比、出生率、怀孕率受到密度因素的影响。其它研究如 Tai 等^[18]、Féron 和 Gheusi^[23]和 Goswami 等^[39]也发现, 随着种群密度的增加, 胎仔数减少或新生仔鼠死亡率增加等等。

怀孕率的变化常常受密度制约的影响。在繁殖过程中, 怀孕率的增加说明有更多的雌鼠参与到繁殖过程中, 这促使种群数量增长。鄂晋等^[9]从 2002—2006 年连续 5a 对内蒙古阿拉善荒漠开垦区子午沙鼠(*M. meridianus*)种群数量及繁殖情况进行了专门调查, 结果发现子午沙鼠的怀孕率在种群相对数量最低的 2006 年最高, 而在种群相对数量最高的 2003 年时最低。北京地区大仓鼠(*Tscherskia triton*)各项繁殖指标在低数量的 1985 年最优, 在高数量的 1983 年最差^[40]。杨荷芳和王淑卿^[17]对不同密度组的雌小白鼠妊娠率研究显示密度对妊娠率有影响, 这可能与性成熟延缓有关。Tai 等^[18]对棕色田鼠(*Lasiopodomys mandarinus*)、Rödel 等^[10]对欧洲兔的研究也说明随着种群数量的升高, 雌体参与繁殖的比率逐渐降低, 即怀孕率受到种群密度的制约。

胎仔数亦是影响种群数量消长的重要指标。一些研究显示随着种群数量升高, 平均胎仔数相对下降, 反之平均胎仔数相对升高。胎仔数的降低可以使雌鼠在每次繁殖中产生较少的后代, 导致种群数量增长速率降低。Tai 等^[18]对棕色田鼠(*L. mandarinus*)自然种群调查发现种群密度与幼仔数存在密度制约的关系。鄂晋等^[9]发现子午沙鼠(*M. meridianus*)种群数量最低的 2005 年、2006 年平均胎仔数最高, 而种群数量最高的 2003 年、2004 年却最低。鲍伟东等^[41]在对内蒙古库布齐沙地黑线仓鼠(*C. barabensis*)种群繁殖特征研究中也发现了类似种群波动趋势, 并认为这是怀孕雌体在适应高温干旱条件的过程中, 以减少繁殖输出调节个体适应能力, 提高母体和幼体的存活率的一种适应方式。Goswami 等^[39]研究气候与密度交互作用对橙腹田鼠(*M. ochrogaster*)种群周期性波动影响时发现, 种群增长与新产仔率和死亡率密切相关, 说明由于种群数量的变化, 胎仔数也可以在一定范围内小幅波动, 并反过来调节种群的数量。

性比也是影响怀孕率中的一个重要参数, 随着种群数量变化而发生一定的变化。张洁^[40]对大仓鼠(*T. triton*)的研究发现, 在数量较高的 1983 年, 性比(δ/η)为 1.33, 平均胎仔数为 9.24; 数量次高的 1984 年, 性比为 1.20, 平均胎仔数为 9.29; 数量较低的 1985 年, 性比为 0.95, 平均胎仔数为 9.94。鄂晋等^[9]发现子午沙鼠(*M. meridianus*)在不同的数量水平时, 性比也出现了变化, 具体表现为种群数量低时, 雌体比例较高, 反之则雄体比例较高。他在调查中发现, 雌体数量处于优势的时间较长(9 个月), 但 5a 中总的雌鼠数量明显低于雄鼠的数量。在种群数量高峰期, 雄鼠数量的增长在短时间内(6 个月)远远超过雌鼠。在较长时间内, 种群数量下降, 并保持相对较低水平, 这时雌鼠数量占优。Andreassen 等^[42]对控制种群波动内因及外因的研究也证实种群数量较低时雌性比例较大。严志堂等^[43]和 Delong^[44]对野生小家鼠(*M. musculus*)的研究也发现, 种群数量下降时, 雌性占优势。

这些都是种群内调节机制的表现, 而且高密度对性成熟和生长具有延缓作用。综合来看, 在高密度种群内, 繁殖受到抑制最为严重。夏武平等^[45]对内蒙古阴山北部农业区长爪沙鼠(*M. ungiculatus*)的种群动态及其调节研究表明, 长爪沙鼠的种群密度对其雌鼠的怀孕率、雄鼠的贮精囊膨大率均有反馈调节作用, 在高密度年份, 该鼠种群繁殖指数为零, 雄鼠性活动完全停止, 年龄结构中完全没有幼鼠, 成年雌鼠体重减小。1992—1994 年的野外调查也显示, 随着种群密度的增加, 棕色田鼠(*L. mandarinus*)的性比、怀孕率和繁殖指数降低^[18]。严志堂等^[43]认为当小家鼠(*M. musculus*)的种群密度超过最适密度时, 在性比、成亚比、胎仔数、怀孕率与种群数量之间关系均达相关显著, 是受密度制约所致。同时, 在种群数量上升年份的怀孕率最高、繁殖期长, 繁殖次数相对较多, 数量高峰年则相反。Ergon 等^[6]对黑田鼠(*M. agrestis*)的研究也表明, 在种群周期的上升期(increase phase)时, 雌鼠具有较高的繁殖率, 幼鼠成活率也较高, 但当超过高峰期(peak phase), 由于种群密度过大导致的空间、食物等种内竞争及捕食、天敌等种间竞争致使种群进入衰减期(crash phase), 此时, 种群成年鼠的死亡率增加, 出生率和存活率降低, 种群结构不稳定。也有以雌小白鼠为研究对象, 比较不同密度、性比对其繁殖的影响, 发现高密度对性成熟时间、妊娠率以及窝产仔数均有不同程度的抑制作用^[17]。这些室内外的实验观察均反映了密度因子对繁殖的负反馈作用。

2.5 激素

环境压力对激素有重要影响^[8,46]。Bian 等^[47]对根田鼠(*M. oeconomus*)的研究表明,将雄性根田鼠暴露给捕食者气味 20 d 后,其皮质酮水平显著升高,而性激素及性行为均被抑制。王振龙和刘季科^[37]在实验室条件下,研究艾鼬气味对根田鼠(*M. oeconomus*)的研究发现,艾鼬气味能显著提高雌性血清孕酮含量。高密度个体间的社会性冲突使种群中的社群压力升高,促进了下丘脑-垂体-肾上腺轴(Hypothalamic-pituitary-adrenal axis, HPA 轴)的活动,使 HPA 轴的最终产物——糖皮质激素持续升高,引起个体系列的应激反应,进而影响动物的繁殖^[2-3]。Christian^[3]认为,啮齿类种群数量上升时,种群内个体间的“紧张”程度显然会增加,从而对中枢神经系统的刺激加强,主要影响脑下垂体和肾上腺的功能。从内分泌角度上来讲,其结果是影响激素的分泌。国内外有不少学者证明,种群密度与激素水平之间存在密切关系^[19,28,46,48]。Chapman 等^[46]在实验室内对雌性小家鼠(*M. musculus*)进行的研究显示,高密度种群内雌性小家鼠血浆皮质酮和睾酮含量显著增加,其种群增长受到限制。Peng 等^[49]研究不同密度对 BALB/c Crl 鼠血浆皮质酮的影响,结果发现,8 只/笼中的血浆皮质酮含量明显高于 2 只/笼和 4 只/笼中的含量,且差异显著。野生啮齿动物种群常常处于不稳定的波动中,测定野外种群或围栏内不同密度与激素间的关系,也有相似结果的报道。高密度可导致啮齿动物肾上腺的重量增加,表明 HPA 轴被激活,从而对繁殖和免疫功能产生抑制^[24,28]。杨幼凤等^[28]研究鲁西平原黑线仓鼠(*C. barabensis*)种群调节发现,随着种群密度的增加,该鼠肾上腺重量增加,血浆皮质醇也随之上升,且两者呈显著正相关。吴雁等^[19]和边疆晖等^[50]在封闭围栏条件下测定根田鼠(*M. oeconomus*)种群密度对个体皮质酮水平的作用,结果发现高密度处理建群者的血浆皮质酮含量和脾脏指数均显著高于低密度处理。

此外,下丘脑-垂体-肾上腺轴(HPA)是影响免疫能力的主要轴系,各种免疫细胞上都存在 HPA 轴各类激素的受体^[51],动物应激时所释放和分泌的各类神经递质及激素对免疫系统有重要的调节作用。而免疫能力是衡量动物繁殖成功和适合度最重要的决定性因素^[52]。室内,Rabin 和 Salvin^[53]发现,在 5 只/笼的饲养条件下,雄性 C3H/HeJ 小鼠脾脏中 B 淋巴细胞所产生的抗绵羊红细胞抗体含量明显低于 1 只/笼的个体。其它一些室内研究也证明,种群密度能够影响动物的免疫功能。Nelson 等^[14]对橙腹田鼠(*M. ochrogaster*)的研究表明短光照(L:D=8:16)条件下高密度(10.96 只/m³)个体的体重、脾脏指数和血清抗体含量明显高于低密度(0.18 只/m³)个体。Peng 等^[49]发现,小鼠在 4 只/笼的饲养条件下受到的社群压力较小,其外周淋巴细胞数量高于 2 只/笼和 8 只/笼的个体。相反,单独饲养的雄性 C57BL/6 和 BALB/c 小鼠比集群饲养的个体具有更高的二次抗体应答水平。

2.6 行为

动物的行为是自然界长期演化的结果,不同物种表现其固定的行为模式,但同时,又具有较大的可塑性,受多种因素的影响。例如,先天遗传、生活环境、繁殖时期、性别差异等均可以表现出不同的行为。种群密度作为社群环境的组成部分之一,其在动物的行为模式中扮有重要的角色。当种群密度升高时,栖息地内单个动物的领域、食物等资源都会减少,而由密度引起的种内斗争势必增加,为提高自身的生存和繁殖机会,动物必将改变其行为对策^[2,54-56],最终结果可能是表现为限制种群增长。因此密度效应在鼠类种群繁殖或生殖行为上有所体现。而目前关于密度制约效应与动物生殖、繁殖行为关系的研究报道较少。很多鼠类种群内存在不同社群序位,因此种群密度大小可能会对社群序位有所影响,进而影响到群体的繁殖能力。陈国康和施大钊^[57]在实验室条件下观察了捕自内蒙古草原的不同序位布氏田鼠(*L. brandtii*)的繁殖行为特征,发现雌鼠对雄性配偶存在着激烈的竞争,高序位雌鼠获得被选择、交尾及产仔的机会最多。在社群繁殖中高序位雌、雄个体的作用明显高于低序位个体。张建军和张知彬^[54]观察配偶数增加对布氏田鼠(*L. brandtii*)社会行为的影响,结果发现,配偶数增加引起密度的升高,密度的升高导致布氏田鼠社群内非对抗行为显著减少,对抗行为显著增多;对抗行为频次的增加一方面表明布氏田鼠在配偶数增加的情况下群内竞争强度加大,另一方面也可能表明了一种交配干扰,即通过直接攻击或打斗行为来干扰群内其它同性个体的交配。大仓鼠(*T. triton*)具有表型匹配识别亲属的能力,但是在低密度下,也有可能不表现出对亲属和非亲属的分辨,即不表现近交回避和亲属善待行为,这样也许能增加繁殖成功的机会,对种群恢复有利^[55]。

小哺乳动物种群周期的不同阶段,种群密度不同,动物攻击行为水平不一致,攻击引起种群结构改变,最终甚至可能因此形成周期性的种群波动^[42,56,58-60]。如密度较高的种群内,雌性小家鼠(*M. musculus*)表现出雄性化的攻击行为^[46]。在自然种群中,种群密度与个体间的攻击行为也存在密切关联^[12,60]。实际上,攻击行为对种群的调节也是密度制约的一种行为机制。许多研究证明,动物对来自于种群密度的压力主要采取迁移和扩散的方式进行应对,在行为上则主要表现为对同类攻击和警戒行为的明显增加^[61]。通过风险预测,小型哺乳动物在低密度时形成亲缘群体;而在高密度时,由于攻击者的压力,亲缘群体会消失。Krebs^[58]在中立竞技场测定草原田鼠(*M. pennsylvanicus*)和橙腹田鼠(*M. ochrogaster*)种群不同波动期的攻击行为与种群密度的关系。将捕获个体带回实验室 2a,测定攻击行为后放回,发现种群高峰期个体的攻击行为最高。在室内饲养条件下,Dong 等^[62]观察发现,如集群饲养大仓鼠(*T. triton*),则打斗较为厉害,死亡率也增加。聂海燕等^[12]、Nie 和 Liu^[60]在捕食和附加食物交互作用条件下对根田鼠(*M. oeconomus*)攻击行为的研究表明,具有明显攻击的恐吓、进攻及争斗等行为与种群密度分别呈显著或极显著的线性正相关关系。Andreassen 等^[42]对野外根田鼠(*M. oeconomus*)的研究发现,在种群增长低密度期,扩散率大,扩散使之前未被占领之栖息地得以利用,因而种群增长;而在高峰期(peak phase),种群扩散率低,同一生境中的密度增大,对于

有限的繁殖空间,食物的竞争和捕食的压力,使种群之间的攻击行为增大,因而导致种群减少。总之,小型哺乳动物不同种群密度时期,由于亲缘关系、杂合度、基因型等的不同,种群内的攻击行为强度将发生变化,并且这种行为的变化最终可能影响种群动态^[10,61]。

杀婴行为可能也是不同密度条件下鼠类种群在繁殖调节功能上的行为体现。不论是双亲调控性杀婴,还是性因选择杀婴,都可能与社群大小和对种群数量调节有一定的关系。之前,由于动物的杀婴对种群的发展不利,因而普遍认为动物的杀婴行为是一种病态行为。然而,随着研究的深入和认识的深化,人们逐渐认识到,动物的杀婴并非是一种病态行为,其动机是可解释可预测的,是在长期的选择压力下进化来的,杀婴可增加杀婴者的适合度,是具有适应意义的一种行为^[63-64]。高密度种群会给你一个群体内的个体一定社群压力,因此也可能成为诱导杀婴行为的原因之一。种群密度升高,食物及空间资源显得相对不足,淘汰幼体是为了减少对食物及空间资源的竞争。马隆喜等^[65]采用野外定时观测的方法对高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)的研究发现,在密度压力下,高原鼠兔对食物、空间和繁殖机会这三者的利益权衡中,食物资源居于首要地位,而对空间和繁殖机会的占有则置于相对次要的地位。Opperbeek 等^[63]对欧鼯(*M. glareolus*)的研究说明,雄性通过杀幼行为使营养增益(nutritional gain),减少竞争以及增加交配机率来提高自身的适合度。Korpela 等^[56]对欧鼯(*M. glareolus*)的研究也证实,较之低密度,高密度更能导致杀幼行为。室内不同饲养密度的东方田鼠(*Microtus fortis*)也常咬死刚生下来的幼鼠,我们初步的研究结果分析显示^[66],低密度组 A 组(1 对/笼)与其它 3 组高密度 B、C、D 组(A:2 对/笼、B:3 对/笼、C:4 对/笼)比较,杀婴行为均为极显著($P<0.001$),B 组与 C 组和 D 组之间差异性亦显著($P<0.05$),即,随着密度增加,东方田鼠杀婴行为显著增加。

3 研究方法评述

在研究方法上,国内外许多研究学者分别从室内人工繁育和野外自然种群取样来探讨种群密度对啮齿动物的影响(表 1),如在室内的有小白鼠^[17]、布氏田鼠(*L. brandtii*)^[27]、C57BL/6 和 BALB/Ci 品系小白鼠^[35]、BALB/c CrI 裸鼠^[49],野外自然种群的有黑田鼠(*M. agrestis*)^[67]、小家鼠(*M. musculus*)^[5,16]、棕色田鼠(*L. mandarinus*)^[18]、黑线仓鼠(*C. barabensis*)^[28],但对于半自然条件即(围栏设计)可控条件下的种群密度制约效应的研究相对来说则较少,在国外有一些,如草原田鼠(*M. pennsylvanicus*)^[13,68]、小家鼠(*M. musculus*)^[36]等,而国内则更少,主要是根田鼠(*M. oeconomus*)^[19,50]相关报道。有学者认为自然界中的所有物种都处在大的生态系统当中,数量变动则是由多方面因素综合作用的;而室内控制实验,忽视了来自天敌、食物、种间竞争等各方面的生态压力,实验种群不能很好的反应野外种群的特征,此外,单位面积上的野外种群数量也无法达到室内的种群数量,因此,实验结果具有一定的局限性和不一致性。很多研究就是经野外不同密度样地几次调查取样后,通过分析检验不同密度种群个体的变化来检验密度制约效应。而野外种群取样的实验影响因素很多,波动性太大,不能解释单一因子对种群的影响。同时野外种群所处的种群发展过程不同(如种群上升期、高峰期、衰落期或低谷期等),野外其它环境条件的差异,也可能会对结果有一定的影响。因此,综上所述,探讨密度制约对种群动态规律及其机理最有效的方法是通过围栏设计以调控种群密度,即在一定程度上模拟自然条件,也能很好的在可控条件下来研究密度制约对种群的各种参数的影响。在未来密度制约的研究中,在室内外观察结果的基础上,半自然条件围栏控制实验可能有助于更好地探索密度制约效应的相关问题。

4 讨论

虽然已有很多研究证实密度制约效应的存在,但也有一些不一致的研究结果,如有研究显示在一定条件下,种群随着密度的升高,出生率反而升高,死亡率降低等的情况。这可能是受种群差异、种群发展阶段等因素的影响。因此有些种类所处种群数量波动周期的不同阶段也是影响密度负反馈机制的重要因素。如在野外条件下,当种群数量处于波动期中的上升期时,种群密度增加反而能加速种群的增长,而当种群数量到达高峰期

表 1 密度制约效应研究途径

Table 1 Methodology of density-dependence

方法 Method	鼠名 Rodent	文献来源 Recourses
室内笼养试验 Rearing in the experiment	C57BL/6, BALB/Ci mice	[35]
	布氏田鼠 <i>Lasiopodomys brandtii</i>	[27]
	雌小白鼠	[17, 24]
	BALB/c CrI mice	[49]
	ICR mice Harlan Sprague Dawley	[69]
	小家鼠 <i>Mus musculus</i>	[25, 46]
	橙腹田鼠 <i>Microtus ochrogaster</i>	[14]
	欧鼯 <i>Myodes glareolus</i>	[70]
	高原鼠兔 <i>Ochotona curzoniae</i>	[59, 71]
	小家鼠 <i>Mus musculus</i>	[5, 16]
野外生境 取样调查 A field experiment	布氏田鼠 <i>Lasiopodomys brandtii</i>	[24, 29]
	黑线仓鼠 <i>Cricetulus barabensis</i>	[28]
	长爪沙鼠 <i>Meriones unguiculatus</i>	[45]
	棕色田鼠 <i>Lasiopodomys mandarinus</i>	[18]
	子午沙鼠 <i>Meriones meridianus</i>	[9]
	大仓鼠 <i>Tscherskia triton</i>	[40]
	草原田鼠 <i>Microtus pennsylvanicus</i>	[4]
	北极地松鼠 <i>Spermophilus parryi plesius</i>	[7]
	黑田鼠 <i>Microtus agrestis</i>	[38, 67, 6]
	刚毛棉鼠 <i>Sigmodon hispidus</i>	[72]
	橙腹田鼠 <i>Microtus ochrogaster</i>	[72, 39]
	大耳禾鼠 <i>Reithrodontomys megalotis</i>	[72]
	拉布拉多白足鼠 <i>Peromyscus maniculatus</i>	[72]
半自然条件围栏 控制试验 Semi-natural enclosure	根田鼠 <i>Microtus oeconomus</i>	[12, 19, 50]
	草原田鼠 <i>Microtus pennsylvanicus</i>	[13, 68]
	小家鼠 <i>Mus domesticus</i>	[36]
	棕背鼯 <i>Myods rufocanus bedfordiae</i>	[30]

进入衰减期时,密度负反馈机制才会有所体现^[6,42]。

密度制约效应还似乎在密度上存在一个阈值。只有当密度水平达到一定数量级时,才会有密度负反馈效应体现。虽然布氏田鼠(*L. brandtii*)随密度的升高,睾丸指数逐渐降低,但中密度和低密度个体的差异并不明显^[27],说明低于某个密度的集群不会抑制雄性布氏田鼠的繁殖功能,密度过高则会抑制其生殖器官的发育。

另外,从前的研究结果发现,密度负反馈效应的调节作用可能存在不同方式体现形式。虽然一些研究证实,密度效应的性比调节在子午沙鼠(*M. meridianus*)^[9]、小家鼠(*M. musculus*)^[43-44]有所体现,但不同鼠种也可能有不同的响应,如小毛足鼠(*Phodopus roborovskii*)^[73]性比变化与数量关系就不十分明显。黑线仓鼠(*C. barabensis*)自然种群,随着种群密度的增加,睾丸重量逐渐下降^[28],但其性比变化却不明显^[74]。李凤华等^[27]对布氏田鼠(*L. brandtii*)的研究发现,在实验室条件下,不同密度的雌性和雄性个体皮质醇含量各自无显著性差异,说明密度因素未必对布氏田鼠个体造成社群压力,但密度能够影响布氏田鼠的生长、繁殖和免疫状况。

在对动物种群密度和内分泌水平变化所做的大量研究中,密度制约效应影响激素水平变化也不近一致。Boonstra 和 Boag^[48]的研究表明,虽然较高密度种群内的草原田鼠(*M. pennsylvanicus*)具有较高的皮质酮和皮质酮结合球蛋白水平,但雄激素水平在不同密度种群间无显著差异,且最高密度种群数量减少的幅度最小。王金龙等^[71]研究不同密度对高原鼠兔(*O. curzoniae*)类固醇激素水平的影响,结果显示,不同种群密度间,血浆雌二醇、睾酮和皮质醇水平均未表现出种群密度间的显著差异,血浆皮质酮水平的变化亦不明显,仅个别繁殖时期不同密度种群间有所差异。同时,他还发现,最高密度的种群 I 内其种群增长反而最大,说明在种群密度相对较低的自然条件下,种群密度增加不能使高原鼠兔产生明显的应激反应,并影响其种群动态。在行为调节的研究上,Turner 等^[75]测定草原田鼠(*M. pennsylvanicus*) 1 年的攻击行为后,发现种群密度与攻击行为无相关关系。王金龙等^[59]采用目标动物取样法对不同密度条件下高原鼠兔(*O. curzoniae*)的行为模式研究表明,高密度和低密度种群间,除观望行为持续时间和发生频次变化明显外,亲昵行为和攻击行为未表现出密度间的显著差异,从整体上看,行为与密度无关。说明在某些条件下,比较融洽的种内关系未必对种群个体造成社群压力^[27]。

密度在啮齿动物种群动态的调节作用是生态学研究的焦点之一。目前,关于密度对啮齿动物的探讨主要存在几个疑问。首先,很难确定因果关系。研究者应用相关的方法来探究种群密度与出生率、死亡率以及扩散作用之间的回归关系,但是由于有很多不确定因子和时间滞后的原因,较难阐述密度与种群变动间的直接因果关系。其次,多数啮齿动物波动期密度变化较快,而种群统计参数的变化应该是对当前密度的反应。最后也有研究者用时间序列(time-series)分析以探讨密度制约效应,而这则会过高估计密度制约的作用且存在数据的时间自相关性^[76-77]。总之,探讨密度制约对种群动态规律及其调节机理,是解释有害动物防治及其资源动物管理的基础理论。只有掌握这些规律,才有可能更有效地预测和控制有害啮齿动物的数量,也能够更科学地管理和利用它们来为人类服务。

References:

- [1] Zhang Z B. Population fluctuation and regulation of small mammals // Wang Z W, Zhang Z B, eds. Theory and Practice of Rodent Pest Management. Beijing: Science Press, 1996: 145-165.
- [2] Christian J J. Phenomena associated with population density. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1961, 47(4): 428-447.
- [3] Christian J J. Population density and reproductive efficiency. Biology of Reproduction, 1971, 4(3): 248-294.
- [4] Ostfeld R S, Canham C D, Pugh S R. Intrinsic density-dependent regulation of vole populations. Nature, 1993, 366(6452): 259-261.
- [5] Zhu S K, Chen A G. Ecological Characteristics and Prediction of *Mus musculus*. Beijing: Science Press, 1993.
- [6] Ergon T, Ergon R, Begon M, Telfer S, Lambin X. Delayed density-dependent onset of spring reproduction in a fluctuating population of field voles. Oikos, 2011, 120(6): 934-940.
- [7] Karels T J, Boonstra R. Concurrent density dependence and independence in populations of arctic ground squirrels. Nature, 2000, 408(6811): 460-463.
- [8] Genaro G, Schmidek W R, Franci C R. Social condition affects hormone secretion and exploratory behavior in rats. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 2004, 37(6): 833-840.
- [9] Er J, Zhang F S, Yu Y D, Fu H P. Population dynamics and reproduction characteristic of Mid-day gerbil under farmland disturbance in desert region. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition, 2009, 30(2): 140-144.
- [10] Rödel H G, Bora A, Kaiser J, Kaetzke P, Khaschei M, Von Holst D. Density-dependent reproduction in the European rabbit: a consequence of individual response and age-dependent reproductive performance. Oikos, 2004, 104(3): 529-539.
- [11] Agren G, Zhou Q, Zhong W. Ecology and social behaviour of Mongolian gerbils, *Meriones unguiculatus*, at Xilinhot, Inner Mongolia, China. Animal Behaviour, 1989, 37(1): 11-27.
- [12] Nie H Y, Liu J K, Su J P, Bian J H. Analysis on aggressive levels and behavior polymorphism of root voles in seasonal fluctuating populations under the interaction between predation and food availability. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2139-2147.
- [13] Ostfeld R S, Canham C D. Density-dependent processes in meadow voles: an experimental approach. Ecology, 1995, 76(2): 521-532.

- [14] Nelson R J, Fine J B, Demas G E, Moffatt C A. Photoperiod and population density interact to affect reproductive and immune function in male prairie voles. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 1996, 270(3): R571-R577.
- [15] Marchlewska-Koj A. Sociogenic stress and rodent reproduction. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 1997, 21(5): 699-703.
- [16] Zeng J X, Wang Z W, Han Y C. Effects of population density on the weight of adrenal, thymus, gonad and blood sugar in House mice. *Acta Theriologica Sinica*, 1980, 26(3): 266-273.
- [17] Yang H F, Wang S Q. Effect of population density, sex ratio on population numbers of rodents, effect of population densities, sex ratio on reproduction in female mice. *Acta Theriologica Sinica*, 1984, 4(4): 301-309.
- [18] Tai F D, Zhao Y J, Wang T Z. Reproduction and density-dependent regulation in population of mandarin vole (*Microtus mandarinus*). *Acta Theriologica Sinica*, 1998, 18(3): 208-214.
- [19] Wu Y, Bian J H, Cao Y F. Maternal social stress affects immunocompetence of offspring in root voles (*Microtus oeconomus*): a field experiment. *Acta Theriologica Sinica*, 2008, 28(3): 250-259.
- [20] Drickamer L C. Delay of sexual maturation in female house mice by exposure to grouped females or urine from grouped females. *Journal of the Society for Reproduction and Fertility*, 1977, 51(1): 77-81.
- [21] Whitten W. Occurrence of anoestrus in mice caged in groups. *Journal of Endocrinology*, 1959, 18(1): 102-107.
- [22] Drickamer L C. Social inhibition of sexual maturation in female and male bank voles (*Clethrionomys glareolus*). *Acta Theriologica*, 1989, 33-34: 479-485.
- [23] Féron C, Gheusi G. Social regulation of reproduction in the female mound-builder mouse (*Mus spicilegus*). *Physiology and Behavior*, 2003, 78(4/5): 717-722.
- [24] Group I, Department of Animal Ecology, Institute of Zoology, Academia Sinica. Investigations on population self-regulation in Brandt's voles: the relationships between population density, adrenal weight and gonadal weight. *Acta Zoologica Sinica*, 1979, 25(2): 164-167.
- [25] Mckinney T D, Desjardins C. Postnatal development of the testis, fighting behavior, and fertility in house mice. *Biology of Reproduction*, 1973, 9(3): 279-294.
- [26] Spears N, Clarke J R. Effect of male presence and of photoperiod on the sexual maturation of the field vole (*Microtus agrestis*). *Journal of the Society for Reproduction and Fertility*, 1986, 78(1): 231-238.
- [27] Li F H, Wang D H, Zhong W Q. Population density and immune function in Brandt's voles (*Microtus brandti*). *Acta Zoologica Sinica*, 2003, 49(4): 438-444.
- [28] Yang Y F, Lu H Q, Zheng L L. Self-regulation mechanism of striped hamster in west Shandong plain — relations between adrenal gland weight, sexual gland weight, plasma cortisol value and population density. *Journal of Ecology*, 1990, 9(6): 1-6.
- [29] Zhou Q Q, Zhong W Q, Wang G H. Density factor in the regulation of Brandt's vole population. *Acta Theriologica Sinica*, 1992, 12(1): 49-56.
- [30] Saitoh T. Control of female maturation in high density populations of the red-backed vole, *Clethrionomys rufocanus bedfordiae*. *Journal of Animal Ecology*, 1981, 50(1): 79-87.
- [31] Norrdahl K, Korpimäki E. Changes in individual quality during a 3-year population cycle of voles. *Oecologia*, 2002, 130(2): 239-249.
- [32] Genazzani A R, Petraglia F, Ramundo B M, Genazzani A D, Amato F, Algeri I, Galassi M C, Botticelli G, Bidzinska B. Neuroendocrine Correlates of Stress-Related Amenorrhea. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1991, 626: 125-129.
- [33] González A, Rodríguez Echandía E, Cabrera R, Fóscolo M R. Neonatal chronic stress induces subsensitivity to chronic stress in adult rats: II. Effects on estrous cycle in females. *Physiology and Behavior*, 1994, 56(3): 591-595.
- [34] Ryan K D, Schwartz N B. Grouped female mice: demonstration of pseudopregnancy. *Biology of Reproduction*, 1977, 17(4): 578-583.
- [35] Champlin A K. Suppression of oestrus in grouped mice: the effects of various densities and the possible nature of the stimulus. *Journal of Reproduction and Fertility*, 1971, 27(2): 233-241.
- [36] Drickamer L C, Mikesic D G. Urinary chemosignals, reproduction, and population size for house mice (*Mus domesticus*) living in field enclosures. *Journal of Chemical Ecology*, 1990, 16(10): 2955-2968.
- [37] Wang Z L, Liu J K. Effects of steppe polecat (*Mustela eversmanni*) odor on social behaviour and breeding of root voles (*Microtus oeconomus*). *Acta Zoologica Sinica*, 2002, 48(1): 20-26.
- [38] Agrell J, Erlinge S, Nelson J, Sandell M. Body weight and population dynamics: cyclic demography in a noncyclic population of the field vole (*Microtus agrestis*). *Canadian Journal of Zoology*, 1992, 70(3): 494-501.
- [39] Goswami V R, Getz L L, Hostetler J A, Ozgul A, Oli M K. Synergistic influences of phase, density, and climatic variation on the dynamics of fluctuating populations. *Ecology*, 2011, 92(8): 1680-1690.
- [40] Zhang J. Studies on population breeding ecology of greater long-tailed hamster in Beijing area. *Acta Theriologica Sinica*, 1987, 7(3): 224-232.
- [41] Bao W D, Wang D H, Wang Z W, Zhou Y L, Wang L M. The comparison of reproductive traits of the Striped Hamster from Kubuqi Sandy-land and Hohhot Plain of Inner Mongolia. *Chinese Journal of Zoology*, 2001, 36(1): 15-18.
- [42] Andreassen H P, Glorvigen P, Rémy A, Ims R A. New views on how population-intrinsic and community-extrinsic processes interact during the vole population cycles. *Oikos*, 2013, 122(4): 507-515.
- [43] Yan Z T, Zhong M M. Studies on population characteristics of feral *Mus musculus*. *Acta Theriologica Sinica*, 1985, 5(3): 201-209.
- [44] Delong K T. Population ecology of feral house mice. *Ecology*, 1967, 48(4): 611-634.
- [45] Xia W P, Liao C H, Zhong W Q, Sun C L, Tian Y. On the population dynamics and regulation of *Meriones unguiculatus* in agricultural region north to Yin Mountains, Inner Mongolia. *Acta Theriologica Sinica*, 1982, 2(1): 51-70.

- [46] Chapman J C, Christian J J, Pawlikowski M A, Michael S D. Analysis of steroid hormone levels in female mice at high population density. *Physiology and Behavior*, 1998, 64(4): 529-533.
- [47] Bian J H, Wu Y, Liu J K. Breeding behavior under temporal risk of predation in male root voles (*Microtus oeconomus*). *Journal of Mammalogy*, 2005, 86(5): 953-960.
- [48] Boonstra R, Boag P T. Spring declines in *Microtus pennsylvanicus* and the role of steroid hormones. *Journal of Animal Ecology*, 1992, 61(2): 339-352.
- [49] Peng X, Lang C M, Drozdowicz C K, Ohlsson-Wilhelm B M. Effect of cage population density on plasma corticosterone and peripheral lymphocyte populations of laboratory mice. *Laboratory Animals*, 1989, 23(4): 302-306.
- [50] Bian J H, Wu Y, Zhou K K. Effects of population density on demography and individual corticosterone level during breeding period in root voles (*Microtus oeconomus*). *Acta Theriologica Sinica*, 2008, 28(2): 135-143.
- [51] Padgett D A, Glaser R. How stress influences the immune response. *Trends in Immunology*, 2003, 24(8): 444-448.
- [52] Lochmiller R L, Deerenberg C. Trade-offs in evolutionary immunology: just what is the cost of immunity?. *Oikos*, 2000, 88(1): 87-98.
- [53] Rabin B S, Salvin S B. Effect of differential housing and time on immune reactivity to *Sheep erythrocytes* and *Candida*. *Brain, Behavior and Immunity*, 1987, 1(3): 264-275.
- [54] Zhang J J, Zhang Z B. Influence of additional mates on social behavior of Brandt's vole (*Microtus brandti*). *Acta Zoologica Sinica*, 2003, 49(4): 432-437.
- [55] Zhang J X, Wang Y Q, Liu J, Zhang Z B, Liu D Z. Disappearance of nepotistic behavior and inbreeding avoidance after long-term isolation in rat-like hamsters *Cricetulus triton*. *Acta Zoologica Sinica*, 2004, 50(3): 313-318.
- [56] Korpela K, Sundell J, Ylönen H. Does personality in small rodents vary depending on population density?. *Oecologia*, 2011, 165(1): 67-77.
- [57] Chen G K, Shi D Z. Study on reproductive behavior of different social hierarchy of Brandt's vole. *Acta Theriologica Sinica*, 2003, 23(3): 220-224.
- [58] Krebs C J. *Microtus* population biology: Behavioral changes associated with the population cycles in *M. ochrogaster* and *M. pennsylvanicus*. *Ecology*, 1970, 51(1): 34-52.
- [59] Wang J L, Wei W H, Zhang Y M, Yin B F. Behavior patterns of plateau pika *Ochotona curzoniae* at different population densities. *Acta Zoologica Sinica*, 2005, 51(4): 598-607.
- [60] Nie H Y, Liu J K. Regulation of root vole population dynamics by food supply and predation: a two-factor experiment. *Oikos*, 2005, 109(2): 387-395.
- [61] Chitty D. The natural selection of self-regulatory behaviour in animal population. *The Proceedings of the Ecological Society of Australia*, 1967, 2: 51-78.
- [62] Dong J P, Li C H, Zhang Z B. Density-dependent genetic variation in dynamic populations of the greater long-tailed hamster (*Tscherskia triton*). *Journal of Mammalogy*, 2010, 91(1): 200-207.
- [63] Opperbeek A, Ylönen H, Klemme I. Infanticide and population growth in the bank vole (*Myodes glareolus*): the effect of male turnover and density. *Ethology*, 2012, 118(2): 178-186.
- [64] Andersson A, Valros A, Rombin J, Jensen P. Extensive infanticide in enclosed European wild boars (*Sus scrofa*). *Applied Animal Behaviour Science*, 2011, 134(3): 184-192.
- [65] Ma L X, Jiang X L, Zhang W G. The responses of behavior pattern of *Ochotona curzoniae* to population density. *Pratacultural Science*, 2007, 24(9): 79-82.
- [66] Shen G, Han Q H, Zhang M W, Wang Y, Li B. Density-dependent effect on infanticide of *Microtus fortis* // Abstracts of the Eighth National Conference on Wildlife Ecology and Resource Protection. *Shenyang*, 2012: 59-60.
- [67] Agrell J, Erlinge S, Nelson J, Nilsson C, Persson I. Delayed density-dependence in a small-rodent population. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 1995, 262(1363): 65-70.
- [68] Turchin P, Ostfeld R S. Effects of density and season on the population rate of change in the meadow vole. *Oikos*, 1997, 78(2): 355-361.
- [69] O'Malley J, Dambrosia J M, Davis J A. Effect of housing density on reproductive parameters and corticosterone levels in nursing mice. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 2008, 47(2): 9-15.
- [70] Saino N, Canova L, Fasola M, Martinelli R. Reproduction and population density affect humoral immunity in bank voles under field experimental conditions. *Oecologia*, 2000, 124(3): 358-366.
- [71] Wang J L, Wei W H, Zhang Y M, Yin B F. Effect of population density on the steroid hormone levels of plateau pika (*Ochotona curzoniae*). *Acta Theriologica Sinica*, 2006, 26(3): 241-248.
- [72] Reed A W, Slade N A. Density-dependent recruitment in grassland small mammals. *Journal of Animal Ecology*, 2008, 77(1): 57-65.
- [73] Hou X X, Dong W H, Zhou Y L, Wang L M, Bao W D. Study on reproductive ecology of *Phodopus roborovskii* population. *Zoological Research*, 2000, 21(3): 187-191.
- [74] Dong W H, Hou X X, Lin X Q, Yang Y P, Zhou Y L. Studies on the population dynamics and prediction in Striped Hamster. *Acta Ecologica Sinica*, 1993, 13(4): 300-305.
- [75] Turner B N, Iverson S L, Severson K L. Seasonal changes in open-field behavior in wild male meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*). *Behavioral and Neural Biology*, 1983, 39(1): 60-77.
- [76] Hanski I P, Turchin P, Korpimäki E, Henttonen H. Population oscillations of boreal rodents: regulation by mustelid predators leads to chaos.

Nature, 1993, 364(6434): 232-235.

- [77] Turchin P. Chaos and stability in rodent population dynamics: evidence from non-linear time-series analysis. *Oikos*, 1993, 68(1): 167-172.

参考文献:

- [1] 张知彬. 鼠类种群数量的波动与调节 // 王祖望, 张知彬. 鼠害治理的理论与实践. 北京: 科学出版社, 1996: 145-165.
- [5] 朱盛侃, 陈安国. 小家鼠生态特性与预测. 北京: 科学出版社, 1993.
- [9] 鄂晋, 张福顺, 余奕东, 付和平. 荒漠区开垦干扰下子午沙鼠种群数量动态与繁殖特征. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2009, 30(2): 140-144.
- [12] 聂海燕, 刘季科, 苏建平, 边疆晖. 捕食和食物交互作用条件下根田鼠季节性波动种群攻击水平及其行为多态性分析. 生态学报, 2006, 26(7): 2139-2147.
- [16] 曾绍祥, 王祖望, 韩永才. 小家鼠种群密度对肾上腺、胸腺、性腺和血糖值的影响研究. 动物学报, 1980, 26(3): 266-273.
- [17] 杨荷芳, 王淑卿. 鼠类种群密度、性比对其数量的调节作用 I. 不同密度、性比对雌小白鼠繁殖的影响. 兽类学报, 1984, 4(4): 301-309.
- [19] 吴雁, 边疆晖, 曹伊凡. 围栏条件下母体社群应激对根田鼠子代免疫力的影响. 兽类学报, 2008, 28(3): 250-259.
- [24] 中国科学院动物研究所生态室一组. 布氏田鼠种群内部调节的研究——种群密度、肾上腺和生殖腺重量之间的相互关系. 动物学报, 1979, 25(2): 164-167.
- [27] 李风华, 王德华, 钟文勤. 密度因素对布氏田鼠体重增长及免疫功能的影响. 动物学报, 2003, 49(4): 438-444.
- [28] 杨幼凤, 卢浩泉, 郑俐俐. 鲁西平原黑线仓鼠种群调节机理的研究——种群密度与肾上腺、性腺重量及血浆皮质醇值之间的关系. 生态学杂志, 1990, 9(6): 1-6.
- [29] 周庆强, 钟文勤, 王广和. 密度因素在布氏田鼠种群调节中的作用. 兽类学报, 1992, 12(1): 49-56.
- [37] 王振龙, 刘季科. 艾鼬气味对根田鼠社会行为和繁殖的影响. 动物学报, 2002, 48(1): 20-26.
- [40] 张洁. 北京地区大仓鼠种群繁殖生态研究. 兽类学报, 1987, 7(3): 224-232.
- [41] 鲍伟东, 王德华, 王祖望, 周延林, 王利民. 内蒙古库布齐沙地和呼和浩特平原黑线仓鼠种群繁殖特征的比较. 动物学杂志, 2001, 36(1): 15-18.
- [43] 严志堂, 钟明明. 田野小家鼠种群特征研究. 兽类学报, 1985, 5(3): 201-209.
- [45] 夏武平, 廖崇惠, 钟文勤, 孙崇璐, 田云. 内蒙古阴山北部农业区长爪沙鼠的种群动态及其调节的研究. 兽类学报, 1982, 2(1): 51-70.
- [50] 边疆晖, 吴雁, 周抗抗. 繁殖期根田鼠种群密度对其种群统计参数及个体皮质酮水平的作用. 兽类学报, 2008, 28(2): 135-143.
- [54] 张建军, 张知彬. 配偶数增加对布氏田鼠社会行为的影响. 动物学报, 2003, 49(4): 432-437.
- [55] 张健旭, 王勇泉, 刘捷, 张知彬, 刘定震. 长期社群隔离使大仓鼠近交回避和亲属善待行为消失. 动物学报, 2004, 50(3): 313-318.
- [57] 陈国康, 施大钊. 不同社群序位布氏田鼠的繁殖行为. 兽类学报, 2003, 23(3): 220-224.
- [59] 王金龙, 魏万红, 张堰铭, 殷宝法. 不同种群密度下高原鼠兔的行为模式. 动物学报, 2005, 51(4): 598-607.
- [65] 马隆喜, 江小雷, 张卫国. 高原鼠兔行为格局对种群密度的响应. 草业科学, 2007, 24(9): 79-82.
- [66] 沈果, 韩群花, 张美文, 王勇, 李波. 种群密度对东方田鼠杀婴行为的影响 // 第八届全国野生动物生态与资源保护学术研讨会论文集. 沈阳, 2012: 59-60.
- [71] 王金龙, 魏万红, 张堰铭, 殷宝法. 种群密度对高原鼠兔类固醇激素水平的影响. 兽类学报, 2006, 26(3): 241-248.
- [73] 侯希贤, 董维惠, 周延林, 王利民, 鲍伟东. 小毛足鼠繁殖生态研究. 动物学研究, 2000, 21(3): 187-191.
- [74] 董维惠, 侯希贤, 林小泉, 杨玉平, 周延林. 黑线仓鼠种群数量动态预测研究. 生态学报, 1993, 13(4): 300-305.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.19 Oct., 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

A review of ecosystem services and research perspectives	MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
Sexual interference in non-human primates	YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review	HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
Proximate and ultimate determinants of food chain length	WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi	LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen	XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve	ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (<i>Syrnaticus reevesii</i>) using infrared camera	ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
The energy budget of tree sparrows <i>Passer montanus</i> in wind different speed and duration	YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
Nest site characteristics of <i>Petaurista caniceps</i> in Baima Snow Mountain Nature Reserve	LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of <i>Pachycondyla luteipes</i> on islands in the Thousand Island Lake, East China	LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jiuling, et al (6041)
The molecular genetic relationship between the pollinators of <i>Ficus pumila</i> var. <i>pumila</i> and <i>Ficus pumila</i> var. <i>aukeotsang</i>	WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
The genetic evolutionary relationships of two <i>Eupristina</i> species on <i>Ficus altissima</i>	CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
Metal uptake and root morphological changes for two varieties of <i>Salix integra</i> under cadmium stress	WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings	YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
The morphological and physiological responses of <i>Tamarix ramosissima</i> seedling to different irrigation methods in the extremely arid area	MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> seedling leaves to soil water in sand habitat formed from seashells	WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants	TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of <i>Casuarina equisetifolia</i> plantations at different ages	YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta	PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of <i>Bauhinia faberi</i> seedlings	SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate nitrogen and salinity	ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO ₂	SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
Effects of pretreatment on germination of <i>Typha domingensis</i> and <i>Phragmites australis</i>	MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
Transfer characteristics of cadmium from soil to <i>Salix × aureo-pendula</i>	ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation	LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass <i>Halophila beccarii</i> in Pearl Bay, Guangxi	QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China	YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
Life history characteristics and spatial distribution of <i>Populus pruinosa</i> population at the upper reaches of Tarim River	HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau	ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM_{2.5} and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 陈利顶

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 33 卷 第 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 19 (October, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元