

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

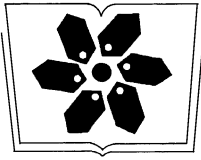
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第5期 Vol.32 No.5 **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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 5 期 2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

淀山湖富营养化过程的统计学特征	程 曦, 李小平, 陈小华 (1355)
拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应	张征田, 张广铎, 张虎成, 等 (1363)
接种后共培养时间对丛枝菌根喜树幼苗喜树碱含量的影响	于 洋, 于 涛, 王 洋, 等 (1370)
沙尘暴发生日数与空气湿度和植物物候的关系——以民勤荒漠区为例	常兆丰, 王耀琳, 韩福贵, 等 (1378)
西藏牦牛 mtDNA D-loop 区的遗传多样性及其遗传分化	张成福, 徐利娟, 姬秋梅, 等 (1387)
红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析	李 猛, 段文标, 陈立新, 等 (1396)
黄土丘陵区子午岭不同植物群落下土壤氮素及相关酶活性的特征	邢肖毅, 黄懿梅, 黄海波, 等 (1403)
毛竹高速生长期土壤碳氮动态及其微生物特性	王雪芹, 张奇春, 姚槐应 (1412)
长期 N 添加对典型草原几个物种叶片性状的影响	黄菊莹, 余海龙, 袁志友, 等 (1419)
接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响	张宇亭, 王文华, 申 鸿, 等 (1428)
福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性	吴文珊, 陈友铃, 蔡美满, 等 (1436)
不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征	张永刚, 韩 梅, 韩忠明, 等 (1442)
基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (1450)
长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数	马 琦, 李爱民, 邓合黎 (1458)
甜瓜幼苗叶片光合变化特性	韩瑞锋, 李建明, 胡晓辉, 等 (1471)
双季稻田种植不同冬季作物对甲烷和氧化亚氮排放的影响	唐海明, 肖小平, 帅细强, 等 (1481)
古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响	曾晓玲, 刘 彤, 张卫宾, 等 (1490)
流溪河水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征	宁加佳, 刘 辉, 古滨河, 等 (1502)
采用本土蔬菜种子替代水藓评价污泥有机肥腐熟度	刘颂颂, 许田芬, 吴启堂, 等 (1510)
人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响——稳定 C、N 同位素分析	李 斌, 王志坚, 金 丽, 等 (1519)
流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素	张才学, 陈慧妍, 孙省利, 等 (1527)
福寿螺的过冷却研究	赵本良, 章家恩, 罗明珠, 等 (1538)
水稻生育期对褐飞虱和白背飞虱卵巢发育及起飞行为的影响	陈 宇, 傅 强, 赖凤香, 等 (1546)
绿盲蝽越冬卵的耐寒能力	卓德干, 李照会, 门兴元, 等 (1553)
陆桥岛屿环境下社鼠种群数量的估算方法	张 旭, 鲍毅新, 刘 军, 等 (1562)
北京市居民食物消费碳足迹	吴 燕, 王效科, 逯 非 (1570)
社会经济系统磷物质流分析——以安徽省含山县为例	傅银银, 袁增伟, 武慧君, 等 (1578)
内陆河流域试验拍卖水权定价影响因素——以黑河流域甘州区为例	邓晓红, 徐中民 (1587)
专论与综述	
台风对森林的影响	刘 斌, 潘 澜, 薛 立 (1596)
海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展	张成龙, 黄 晖, 黄良民, 等 (1606)
三种外来入侵斑潜蝇种间竞争研究进展	相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等 (1616)
沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义	于 宇, 宋金明, 李学刚, 等 (1623)
异化 Fe(III) 还原微生物研究进展	黎慧娟, 彭静静 (1633)
问题讨论	
锡林郭勒盟生态脆弱性	徐广才, 康慕谊, Marc Metzger, 等 (1643)
研究简报	
哥斯达黎加外海夏季表层浮游动物种类组成及分布	刘必林, 陈新军, 贾 涛, 等 (1654)



封面图说: 气候变暖下的北极冰盖——自从 1978 年人类对北极冰盖进行遥感监测以来, 北极冰正以平均每年 8.5% 的速度持续缩小, 每年 1500 亿吨的速度在融化。这使科学家相信, 冰盖缩小的根本原因是全球变暖。北极的冰盖消失, 让更大面积的深色海水暴露出来, 使海水吸收更多太阳热辐射反过来又加剧冰盖融化。由于北极冰的加速融化, 北冰洋的通航已经成为 21 世纪初全球最重要的自然地理事件和生态事件。从这张航片可以看到北极冰缘正在消融、开裂崩塌的现状。

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

DOI: 10.5846/stxb2011101240122

张征田,张广铎,张虎成,庞振凌,王庆林,夏敏.拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应.生态学报,2012,32(5):1363-1369.

Zhang Z T, Zhang G D, Zhang H C, Pang Z L, Wang Q L, Xia M. Cadmium assimilation and elimination and biological response in *Pirata subpiraticus* (Araneae:Lycosidae) fed on Cadmium diets. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1363-1369.

拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应

张征田¹,张广铎²,张虎成³,庞振凌¹,王庆林¹,夏 敏^{1,*}

(1. 南阳师范学院生命科学与技术学院, 南阳 473061; 2. 南阳理工学院, 南阳 473061;

3. 北京电子科技职业学院生物系, 北京 100029)

摘要:为明确拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应,采用原子吸收光谱法检测了连续3代拟水狼蛛对食物中 Cd²⁺ 的吸收和排泄情况,并测定了 Cd²⁺ 对其生长发育、繁殖力和耐饥力的影响。结果表明:食物中过量的 Cd²⁺ 能够通过食物链进行传递并在拟水狼蛛体内积累,积累量随拟水狼蛛代数的增加而增加,第2代和第3代拟水狼蛛体内 Cd²⁺ 积累量浓度显著高于第1代中 Cd²⁺ 积累量,第2代和第3代间差异不显著,积累量与消耗的黑腹果蝇数量极显著正相关, $P < 0.01$; 与消耗食物中 Cd 含量显著正相关, $P < 0.05$ 。连续3代拟水狼蛛分别吸收了食物中 65.4%、68.5% 和 69.1% 的 Cd,生物营养级放大因子分别为 1.71、2.12 和 2.17。连续3代拟水狼蛛 Cd 排泄量极低。Cd 处理能显著改变拟水狼蛛背胸甲宽、幼蛛存活率、生长历期和繁殖力。随拟水狼蛛受胁迫代数的增加,幼蛛存活率显著减少,生长历期显著延长。卵袋重量显著减轻,卵数目显著减少,卵体积显著升高。Cd 处理还能显著降低拟水狼耐饥力。研究结果可为进一步研究环境中 Cd 沿土壤-昆虫-天敌传递、放大和生理耐受提供更充分的理论依据。

关键词: 拟水狼蛛; 镉; 积累; 排泄; 生物放大; 生长历期

Cadmium assimilation and elimination and biological response in *Pirata subpiraticus* (Araneae:Lycosidae) fed on Cadmium diets

ZHANG Zhengtian¹, ZHANG Guangduo², ZHANG Hucheng³, PANG Zhenling¹, WANG Qinglin¹, XIA Min^{1,*}

1 Department of Life Science and Technology, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, China

2 Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473061, China

3 Department of Biology, Beijing Vocational College of Electronic Science and Technology, Beijing 100029, China

Abstract: With the expanding of economy, the environment protection has become more and more critical especially in developing countries. China is the 2nd economic entity in the world and faces even more challenge. Heavy metals are naturally found in soils and rock formations but may also occur in fertilizers and pesticides, as a result of which may cause heavy-metal contamination. The global rate of heavy metal pollution is rapidly increasing in various habitats, heavy metals such as Cadmium (Cd) are one of the most fundamental causes of soil and water pollution in industrialized and developing countries. Metal pollution is a serious environmental problem worldwide, and severely threatens biological diversity and human health. Cadmium (Cd) is a heavy metal that accumulates in the environment and causes pollution as well as intoxication of both vertebrates and invertebrates. Cd biomagnification in the terrestrial food chain appears to be dependent on the physiological properties of the organisms rather than on their trophic level. Although high Cd body burdens in spiders from the field have been reported many times, experimental verification of the key factors that determine the rate of cadmium accumulation is lacking. Metals can accumulate in plants, and via food webs can cause harmful effects to herbivorous and

基金项目:河南省基础与前沿技术基金项目(112300410223); 河南省重点学科项目(豫教高 2008169)

收稿日期:2011-01-24; 修订日期:2011-05-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiamin@nynu.edu.cn

pollinating insects and their predators, among other members of the biota. Biological indicator species are species that can be measured as surrogates for environmental health and levels of pollution before adverse environmental impacts become obvious.

spiders are exposed to environmental pollutants, growth and reproduction can be sharply reduced due to an increased detoxification effort. Spiders, at the individual level, have great potential as biological indicators of metal contamination in soil, because of their position in the food web and consequent biological magnification. Spiders occupy an important part of the predatory arthropod fauna in terrestrial ecosystems. They also play a large role in the regulation of pest species in agriculture. Wolf spiders are generalist predators of other terrestrial invertebrates. The wolf spider *Pirata subpiraticus* (Araneae, Lycosidae) is a common, surface-active wolf spider that inhabits very wet places and can be used as a very important bio-indicator for heavy metals pollution. Here, we investigated the cadmium assimilation rate in the common wolf spider *Pirata subpiraticus* for three generations fed by *Drosophila melanogaster* reared on artificial diets with 20 mg/kg. In addition, biological response traits of *P. subpiraticus* to adapt to heavy metal polluted diets was tested experimentally. It was demonstrated that a high cadmium assimilation (65.4%, 68.5% and 69.1%) and an excretion rate approaching zero resulted in high Cd concentration factors in *P. subpiraticus* for three generations. Cd biomagnification factors were 1.71, 2.12 and 2.17, respectively. The results indicate the importance of spiders in cadmium biomagnification along critical pathways. Furthermore, Our results illustrate that *P. subpiraticus* responds behaviorally to the presence of high concentrations of heavy metals in food. The results also indicate the metal-selected *P. subpiraticus* have a significantly lower width of carapace, survival rate, cocoon weight and egg number. And *P. subpiraticus* also exhibit behaviors resulting in extended total duration, increased egg volume and decreased tolerance starvation life span. Our results suggest that although *P. subpiraticus* displays the potential to develop tolerance to heavy metals, particularly Cadmium, this may occur at a significant biological cost, which can adversely affect its ecological fitness.

From these observations, we speculate that *P. subpiraticus* avoidance behavior towards high concentrations of heavy metals may have a positive effect on their survival and reproductive success in nature, particularly in the presence of metal-contaminated food sources. *P. subpiraticus* can be employed as a specific indicator for metal exposure, and also for the evaluation of chronic effects of metals in foodchains after long-term exposure. The results might provide more adequate theoretical basis insight into Cd along the soil-insects-predators transmission, biomagnification and physiological tolerance.

Key Words: *Pirata subpiraticus*; Cadmium; accumulation; elimination; biomagnification; development duration

近年来,由于工业、采矿业的发展和人类生产生活的增加,加剧了环境中的重金属的污染^[1]。污染环境重金属沿食物链进行传递、累积和生物放大是重金属污染研究的热点问题之一^[2-9]。污染环境的重金属离子可通过动物的表皮、呼吸和摄食等途径进入食物链并在不同营养级中转移和积累,造成有机体重要生物功能物质的损伤,最终会对人类、动植物和其它生物体形成持续的潜在风险^[10]。镉(Cadmium, Cd)是一种机体非必需元素,具有蓄积性,在人体内半衰期长,已被美国农业委员会列为当前最重要的一种农业环境污染物。镉的毒性作用表现在多个方面,作用机制也非常复杂,极易通过食物链进入人体,干扰人体正常的代谢机能^[11]。

在水生生态系统关于镉污染的田间调查和室内模拟已开展了大量研究^[12],近年来关于陆生昆虫研究逐渐受到重视^[13-19]。昆虫是陆地生态系统的重要组成部分,种类和数量多,分布广,是食物链中关键一环,对重金属的累积与传递过程中起到重要的媒介作用,很多已经成为环境指示生物^[3]。近年来重金属对昆虫等节肢动物影响逐渐增多,主要是重金属对蛾类、蚊子和果蝇等昆虫生长发育的影响^[7,8,16],但对害虫天敌蜘蛛的报道较少^[20],拟水狼蛛 *Pirata subpiraticus* 是广布于河流、稻田和潮湿环境的一种游猎性优势蜘蛛^[21],张征田等^[22-23]报道野外 5 个不同生境中拟水狼蛛分别受到环境中不同浓度 Cd, Pb, Cu 和 Zn 的胁迫生物学特性发生

改变,生理防御机制存在显著差异,因此,有必要在人工模拟环境中进一步深入探讨重金属沿食物链积累、迁移、传递和生物放大的规律,以及重金属对生物体各项生长指标和繁殖力的影响,本文以拟水狼蛛为实验材料,以添加一定浓度 Cd^{2+} 培养的黑腹果蝇为猎物,研究连续 3 代拟水狼蛛对食物中 Cd^{2+} 的吸收、排泄和生物放大情况,以及食物中 Cd^{2+} 对其生长发育、繁殖特性和耐饥力的影响,为全面模拟和评估生态环境中重金属污染的生态学效应提供一定的科学依据,同时也为监测野外重金属污染对害虫天敌多样性的影响提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

为了减少实验误差,采集性成熟的雌蛛作为实验材料。于 2010 年 7 月利用 GPS 定位,在宝天曼 BTM ($33^{\circ}2'17''\text{N}$, $111^{\circ}56'22''\text{E}$;砂质粘土,植被丰富以荔枝草为主)利用平行线跳跃法手工采集 100 头携带卵袋的雌性拟水狼蛛带回实验室^[22],分别做好标记后饲养在底部垫有去离子水浸泡的湿海绵的玻璃指管(12 cm×4 cm)中,食物为不含 Cd^{2+} 的培养基培养的黑腹果蝇,每天喂 1 次,所有蜘蛛均放置于 RXZ 智能人工气候箱内,饲养条件为 $T:28^{\circ}\text{C}$ 、 $RH:37\%$ 、 $L:D=12\text{h}:12\text{h}$ 。待孵化后,所有幼蛛采用无重金属污染的鸡蛋和蜂蜜饲喂,待长到 2 龄后,随机选取 10 头幼蛛放入 -30°C 冰箱冰冻冷藏以备测量起初 Cd 含量,然后随机选取孵化的其它幼蛛分别转到单独的玻璃指管中分别用 $-\text{Cd}^{2+}$ 和 $+\text{Cd}^{2+}$ 培养的黑腹果蝇进行饲喂,并以此连续 3 代饲喂拟水狼蛛,以第 1 代幼蛛性成熟后,交配产卵作为第 2 代虫源,第 3 代依此类推,每代 1 龄幼蛛采用无重金属污染的鸡蛋和蜂蜜饲喂,其它各龄分别用 $-\text{Cd}^{2+}$ 和 $+\text{Cd}^{2+}$ 培养的黑腹果蝇进行饲喂,实验条件同上,连续胁迫 3 代。

1.1.1 猎物-黑腹果蝇的饲养

以不添加 CdCl_2 的普通培养基上培养的黑腹果蝇为对照组 ($-\text{Cd}^{2+}$),另在普通培养基上分别添加一定浓度的 Cd^{2+} 为处理组 ($+\text{Cd}^{2+}$), Cd^{2+} 来源于 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$,将 CdCl_2 添加在普通培养基中,使 Cd^{2+} 终浓度为 20 mg/kg。

1.1.2 拟水狼蛛对 Cd^{2+} 累积率、排泄率、生物放大率、生长发育和繁殖力的测定

每次饲喂时,对照组和处理组每头蜘蛛各喂 10 头果蝇,下次饲喂前清除死亡和未消耗的果蝇,记下被取食的果蝇数,隔天喂 1 次,为了减少误差,每次饲喂时也随机选取 10 头果蝇用乙醚麻醉,电子天平称重后,放入 -30°C 冰箱冰冻冷藏以备测量 Cd 含量。蜘蛛每蜕 1 次皮,记录每头蜘蛛龄期直至性成熟,统计各代发育总历期。然后随机选取 20 头放入 -30°C 冰箱冰冻冷藏以备测量 Cd 含量,记录重金属增加量,以此表示重金属的累积率,生物放大率以每代成蛛体内 Cd 浓度与黑腹果蝇体内 Cd 浓度比值来表示。另随机选取 20 头处理组蜘蛛改喂不含 Cd^{2+} 的果蝇,参照 Bahadorani 等^[19]的方法每周测量 1 次蜘蛛体内重金属含量,连测 4 周,记录重金属减少量,以此表示重金属的排泄率。待每代性成熟后,分别记录成蛛数量,计算成活率,成活率以饲喂后成蛛数与饲喂前幼蛛数比值表示,随后在解剖镜(UTHSCSA Image Tool version 2.0)下用测微尺测出雌蛛背胸甲宽度,精确到 0.01 mm,头胸甲宽是衡量各种蜘蛛体型大小的重要指标,待交配产完卵后,称出卵袋鲜重,精确到 0.1 mg,剥开卵袋计算卵粒数,由于卵近似椭球体,测量卵的长(l_1)和宽(l_2),精确到 0.01 mm,利用 $V=\pi/6 l_1 l_2^2$ 算出体积,作为卵的尺寸大小。卵袋重量、卵粒数和卵体积作为雌蛛繁殖力的指标。每次重复测量 3 次,取平均值。

1.1.3 拟水狼蛛耐饥力测定

分别取对照组和处理组每代各 100 头雌性拟水狼蛛成蛛置于 RXZ 智能人工气候箱内,停止果蝇的饲喂,其它饲养条件同上,隔天检查记录死亡数,直至全部死完,计算拟水狼蛛耐饥力。

1.2 黑腹果蝇及拟水狼蛛体内 Cd^{2+} 含量测定

参照 Tack^[24]方法略加改进。采用原子吸收法测定拟水狼蛛体内重金属 Cd 的含量。取冰冻样品编号,测量前,用 1% HNO_3 溶解去掉体表上的重金属。然后 70°C 烘箱中干燥 48 h,电子天平称重,精确到 0.1 mg。

然后用 5 mL 65% 纯 HNO_3 在 130°C 溶解 1 h, 添加 2 mL 20% H_2O_2 溶液, 30 min 后再添加 2 mL 20% H_2O_2 溶液至完全溶解。样品添加 1% HNO_3 至 10 mL 备用。然后用原子吸收分光光度计(日本日立 Z-5000)测定 Cd 的含量, Cd 的测定选用背景校正为塞曼效应。所有重金属含量以每 g 样品干重所含的 μg 数重量, 精确到 0.1 μg , 每样品重复测量 3 次, 取平均值。

1.3 数据处理与分析

数据采用 SPSS10.0 软件进行 t -检验、One-way ANOVA 中 Duncan 氏多重比较和线性回归进行分析。

2 结果与分析

2.1 黑腹果蝇体内 Cd^{2+} 含量

从表 1 可以看出, 食物中过量的 Cd^{2+} 能够通过食物链进行传递并在黑腹果蝇体内积累。经 t -检验, 结果表明, 不添加 Cd^{2+} 培养的黑腹果蝇平均干重显著高于添加 Cd^{2+} 培养的黑腹果蝇, $P < 0.05$ 。添加 Cd^{2+} 培养的黑腹果蝇 Cd^{2+} 含量和 Cd^{2+} 浓度极显著高于不添加 Cd^{2+} 培养的黑腹果蝇, $P < 0.01$, 处理组 Cd^{2+} 浓度高出对照组 Cd^{2+} 浓度 17 倍。其中不添加 Cd^{2+} 培养的黑腹果蝇 Cd^{2+} 可能来源于鸡蛋和蜂蜜。

表 1 黑腹果蝇干重、Cd 含量和 Cd 浓度

Table 1 Average dry weight, Cd content and Cd concentrations in *Drosophila melanogaster* under different treatment

	- Cd^{2+}	+ Cd^{2+}
干重 Average dry weight/mg	0.38±0.0324 a	0.335±0.0246 b
Cd 含量 Cd content/ μg	0.001±0.0002 A	0.015±0.002 B
Cd 浓度 Cd concentration/($\mu\text{g}/\text{g}$)	2.6±0.38 A	45.1±8.23 B

表中数据为平均值±标准差($n=10$), 同一行平均数后不同的小写字母表示同一指标在不同处理下差异显著(t -检验, $P < 0.01$), 大写字母表示差异极显著(t -检验, $P < 0.01$)

2.2 拟水狼蛛对 Cd^{2+} 的累积率、排泄率和生物放大率

从表 2 的 Duncan 氏多重比较结果, 可以看出, 与对照组相比, 处理组食物中的 Cd^{2+} 能够通过食物链进行传递并在拟水狼蛛体内积累, 积累量随拟水狼蛛胁迫代数的增加而增加, 积累量最高达到 2.51 μg , 第 2 代和第 3 代拟水狼蛛体内 Cd^{2+} 积累量浓度显著高于第 1 代中 Cd^{2+} 积累量, 第 2 代和第 3 代间差异不显著, $P > 0.05$ 。线性回归分析表明, 连续 3 代拟水狼蛛体内 Cd^{2+} 积累量与消耗的黑腹果蝇数量极显著或显著正相关($r_1=0.962, P < 0.01; r_2=0.958, P < 0.01; r_3=0.896, P < 0.05$), 连续 3 代拟水狼蛛体内 Cd^{2+} 积累量与消耗食物中 Cd^{2+} 含量显著正相关($r_1=0.895, P < 0.05; r_2=0.914, P < 0.05; r_3=0.814, P < 0.05$), 回归方程斜率表明连续 3 代拟水狼蛛分别吸收了食物中 65.4%、68.5% 和 69.1% 的 Cd, 生物营养级放大因子分别为 1.71、2.12 和 2.17。从表 2 还可以看出, 处理组拟水狼蛛连续 3 代在改喂不添加 Cd 培养的黑腹果蝇时, 连续 4 周内, 体内 Cd 含量呈轻微下降趋势, 差异不显著, $P > 0.05$, 排泄率几乎为 0。对照组整个处理时间内, 体内 Cd 含量差异也不显著, $P > 0.05$ 。

表 2 连续 3 代拟水狼蛛体内镉的累积量、排泄量和生物放大率

Table 2 Cd accumulation, elimination and biomagnification factor in *Pirata subpiraticus* for 3 generations

	- Cd^{2+}			+ Cd^{2+}		
	第 1 代 1st generation	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation	第 1 代 1st generation	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation
累积量/ μg Cd accumulation	0.046±0.005 a	0.048±0.004 a	0.051±0.005 a	2.11±0.12 A	2.46±0.14 B	2.51±0.17 B
排泄量 D Cd elimination	0.001±0.0002 a	0.002±0.0003 a	0.003±0.0002 a	0.04±0.005 A	0.06±0.004 B	0.05±0.006 B
生物放大率 Biomagnification factor	—	—	—	1.71 A	2.12 B	2.17 B

同一行平均数后不同的小写字母表示同一指标差异显著(Duncan 氏多重比较, $P < 0.05$), 大写字母表示差异极显著(Duncan 氏多重比较, $P < 0.01$)

2.3 Cd^{2+} 对拟水狼蛛生长发育的影响

从表 3 的 Duncan 氏多重比较结果,可以看出,Cd 处理能显著改变拟水狼蛛背胸甲宽、幼蛛存活率和生长历期。连续 3 代用 Cd 处理拟水狼蛛,第 1 代背胸甲宽显著宽于第 2 代和第 3 代,第 2 代和第 3 代间背胸甲宽差异不显著。随拟水狼蛛受胁迫代数的增加,幼蛛存活率显著减少,生长历期显著延长。

从表 4 的 Duncan 氏多重比较结果,可以看出,Cd 处理能显著改变拟水狼蛛的繁殖力。连续 3 代用 Cd 处理拟水狼蛛,随拟水狼蛛受胁迫代数的增加,卵袋重量显著减轻,卵数目显著减少,第 1 代卵袋重量和卵数目显著高第 2 代和第 3 代,第 2 代和第 3 代间卵袋重量和卵数目差异不显著, $P>0.05$ 。第 1 代卵体积显著低于第 2 代和第 3 代,第 2 代和第 3 代间卵体积差异不显著, $P>0.05$ 。

表 3 Cd 对连续 3 代拟水狼蛛背胸甲宽、存活率和发育总历期的影响

Table 3 Effects of Cd on Carapace width, survival rate and total duration in *Pirata subpiraticus* for 3 generations

	-Cd ²⁺			+Cd ²⁺		
	第 1 代 1st generation	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation	第 1 代 1st generation	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation
背胸甲宽 Carapace width/mm	2.66±0.04 a	2.68±0.06 a	2.69±0.06 a	2.48±0.04 A	2.26±0.03 B	2.22±0.02 B
存活率 Survival rate/%	98.20±0.8 a	97.50±1.1 a	96.40±2.3 a	88.50±3.7 A	77.30±2.5 B	63.50±2.2 B
总历期 Total duration/d	56.40±1.2 a	57.10±1.3 a	58.50±1.6 a	68.10±2.2 A	76.50±1.8 B	83.20±3.1 B

表 4 Cd 对连续 3 代拟水狼蛛繁殖力的影响

Table 4 Effects of Cd on fecundity in *Pirata subpiraticus* for 3 generations

	-Cd ²⁺			+Cd ²⁺		
	第 1 代 1st generation	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation	第 1 代 1st generation	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation
卵袋重量 Cocoon weight/mg	26.58±0.35 a	26.41±0.32 a	25.89±0.30 a	23.78±0.45 A	20.26±0.34 B	19.85±0.36 B
卵数目 Egg number	78.50±2.1 a	77.60±2.3 a	76.40±1.8 a	65.50±3.3 A	56.30±2.8 B	55.60±2.6 B
卵体积 Egg volume/mm ³	0.27±0.01 a	0.28±0.02 a	0.28±0.01 a	0.31±0.01 A	0.36±0.01 B	0.37±0.01 B

2.4 Cd^{2+} 对拟水狼蛛耐饥力的影响

从图 1 可以看出,处理组与对照组相比,Cd 处理能显著降低拟水狼耐饥力,对照组平均耐饥历期 36 d,最长达 56 d。连续 3 代用 Cd 处理拟水狼蛛,第 1 代耐饥力显著高于第 2 代和第 3 代,第 2 代和第 3 代间耐饥力差异不显著, $P>0.05$ 。处理组第 1 代平均耐饥历期 28 d,最长达 44 d。第 2 代和第 3 代平均耐饥历期分别为 22 d 和 20 d。

3 讨论

Uzairu 等^[25]报道 Cd, Cu, Mn, Pb 和 Zn 能沿着土壤-蚯蚓-鸟类-人类进行传递,威胁着人类的健康。Zhang 等^[9,15]指出工业区的汞沿着土壤-植物-食草昆虫-蜘蛛食物链传递并积累,现有许多研究表明,环境中的重金属能够通过食物链进行传递并在动物体内累积,而且通过食物链传递具有生物放大效应,重金属积累程度因生物种类而异,积累量因生物体组织部位不同而异,因此很多陆生动物尤其是无脊椎动物用作环境指示生物^[3],本研究采用拟水狼蛛作为试验对象,通过饲喂镉培养的黑腹果蝇来模拟连续 3 代拟水狼蛛体内镉的吸收排泄情况、传递规律、生物放大效率及镉对其生长发育、繁殖力和耐饥力的影响。结果表明,环境中的镉能沿着食物链进行传递并在体内积累,随着胁迫代数增加而增加,重金属吸收率达最高可达到 69.1%,生

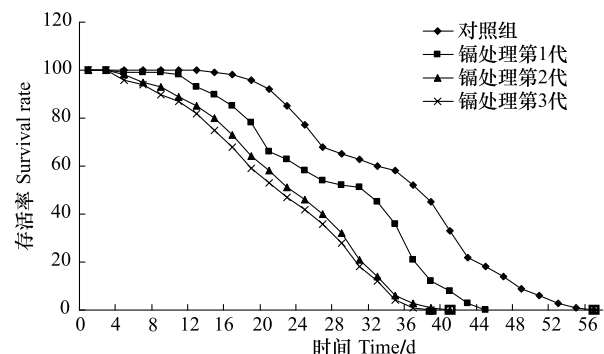


图 1 雌性拟水狼蛛成蛛耐饥力

Fig. 1 Tolerance starvation life span of adult females

物放大因子最高可达 2.17,比 Frederik 等^[26]报道的真水狼蛛对重金属吸收率为 69.5% 和生物放大因子为 2.6 低,比 Zhang 等^[9]报道的汞沿着土壤-植物-食草昆虫-蜘蛛食物链传递,放大因子分别为 0.03,0.79 和 1.13 高,Buchwalter^[12]等指出水生昆虫对镉的吸收和排泄与昆虫的种类显著正相关,尤其要考虑昆虫个体尺寸大小、系统遗传发育基础和种间亲缘关系。生物积累是生物在一定时间内对环境介质中污染物的一种净保留,与环境条件、污染物的生物有效性、生物的生活方式以及代谢活动等诸多因素有关,金属元素的生物积累则与其在环境介质中的化学形态和环境介质的条件有关^[27]。由于长期受重金属胁迫,不同动物对重金属在宏观上已经表现出一定程度的耐受性,微观上表现出重金属耐受基因的突变,再加上地理差异性和种间的差异性,个体对重金属的吸收积累效率自然不同^[28]。

本研究结果还表明,连续 3 代拟水狼蛛对重金属镉有着很强的吸收率,而排泄率微不足道,这与昆虫及其他生物有着显著不同,孙虹霞等^[17-18]报道斜纹夜蛾粪便中的 Ni^{2+} 随饲料中 Ni^{2+} 浓度的增加而增加,并存在显著的剂量-反应关系,斜纹夜蛾对重金属有着很强的排泄率,造成原因可能是拟水狼蛛与相近类群昆虫有着不同的防御机制^[6],生物累积的机理是利用生物新陈代谢作用产生的能量,通过单价或二价离子的离子转移系统把金属离子输送到细胞内部^[29],昆虫的防御机制主要是避免或者减少摄入,增强分泌和排泄能力^[30],而蜘蛛有着比昆虫更为复杂和发达的消化系统,外界来的重金属主要是利用 MT 和微溶酶体把重金属以金属颗粒形式储存在体内。

Morgan 等^[4]指出生物体面对不利环境时往往表现出不同的生物学响应,宏观表现出适应度的下降,主要是个体行为的改变,繁殖力的下降等。Mireji 报道^[7]重金属污染地的摇蚊发育历期延长 2 倍,后代数量爆发规模显著降低。Massadeh 等^[5]和 Bahadorani 等^[19]报道不同种类和浓度的重金属对果蝇生物学特性和行为有着显著影响,主要表现为繁殖策略的改变,产卵量减少和产卵地点改变,存活率和寿命显著减低,野外种群数量也降低,Mogren 等^[8]指出昆虫在面对重金属污染时,作出了不同的生物学响应,主要是拒避效应,逃离不利环境,改变捕食习惯和食物结构组成,改变繁殖策略等。在一定时间内往往会造成减少后代种群数量和丧失生物多样性。这与本研究报道的连续 3 代拟水狼蛛受镉胁迫作出的寿命缩短、发育总历期延长、繁殖力下降和耐饥力变差的生物响应相吻合,也与张征田等^[23]野外调查拟水狼蛛繁殖策略改变一致,但第 2 代和第 3 代差异不显著,可能是因为由于长期的人工胁迫拟水狼蛛已经较好的适应了自然选择的结果。

本研究只是在室内单一稳定条件下测定了单一重金属在蜘蛛体内积累和排泄的规律及对其生长发育和繁殖的影响,条件单一,只注重了室内重金属暴露和效应的关系,监测指标有限,但在野外条件下,陆地生态系统面临着多种重金属和多重暴露途径的协同作用,监测方法和监测指标的多元化、多重性和特异性,因此野外环境中重金属镉对拟水狼蛛的影响有待深入研究。

References:

- [1] Malakar C, Ganguly A, Haldar P. Influence of cadmium on growth, survival and clutch size of a common Indian short horned grasshopper, *Oxya fuscovittata*. American-Eurasian Journal of Toxicological Sciences, 2009, 1(1): 32-36.
- [2] Damiens G, Mouneyrac C, Quiniou F, His E, Gnassia-Barelli M, Roméo M. Metal bioaccumulation and metallothionein concentrations in larvae of *Crassostrea gigas*. Environmental Pollution, 2006, 140(3): 492-499
- [3] Nummelin M, Lodenius M, Tulisalo E, Hirvonen H, Alanko T. Predatory insects as bioindicators of heavy metal pollution. Environmental Pollution, 2007, 145(1): 339-347.
- [4] Morgan A J, Kille P, Stürzenbaum S R. Microevolution and ecotoxicology of metals in invertebrates. Environmental Science and Technology, 2007, 41(4): 1085-1096.
- [5] Massadeh A, Al-Momani F, Elbetieha A. Assessment of heavy metals concentrations in soil samples from the vicinity of busy roads: influence on *Drosophila melanogaster* life cycle. Biological Trace Element Research, 2008, 122(3): 292-299.
- [6] Janssens T K S, Roelofs D, van Straalen N M. Molecular mechanisms of heavy metal tolerance and evolution in invertebrates. Insect Science, 2009, 16(1): 3-18.
- [7] Mireji P O, Keating J, Hassanal A, Mbogo C M, Muturi M N, Githure J I, Beier J C. Biological cost of tolerance to heavy metals in the mosquito *Anopheles gambiae*. Medical and Veterinary Entomology, 2010, 24(2): 101-107.
- [8] Mogren C L, Trumble J T. The impacts of metals and metalloids on insect behavior. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2010, 135(1): 1-17.

- [9] Zhang Z S, Wang Q C, Zheng D M, Zheng N, Lu X G. Mercury distribution and bioaccumulation up the soil-plant-grasshopper-spider food chain in Huludao city, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2010, 22(8) : 1179-1183.
- [10] Rogers J T, Lahiri D K. Metal and inflammatory targets for Alzheimer's disease. *Current Drug Targets*, 2004, 5(6) : 535-551.
- [11] Park J D, Liu Y P, Klaassen C D. Protective effect of metallothionein against the toxicity of cadmium and other metals. *Toxicology*, 2001, 163(2/3) : 93-100.
- [12] Buchwalter D B, Cain D J, Martin C A, Xie L T, Luoma S N, Garland T. Aquatic insect ecophysiological traits reveal phylogenetically based differences in dissolved cadmium susceptibility. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(24) : 8321-8326.
- [13] Heckel P F, Keener T C. Sex differences noted in mercury bioaccumulation in *Magdicada cassini*. *Chemosphere*, 2007, 69(1) : 79-81.
- [14] Harding K M, Gowland J A, Dillon P J. Mercury concentration in black flies *Simulium* spp. (Diptera, Simuliidae) from soft-water streams in Ontario, Canada. *Environmental Pollution*, 2006, 143(3) : 529-535.
- [15] Zheng D M, Wang Q C, Zhang Z S, Zheng N, Zhang X W. Bioaccumulation of total and methyl mercury by arthropods. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008, 81(1) : 95-100.
- [16] Lodenius M, Josefsson J, Heliövaara K, Tulisalo E, Nummelin M. Cadmium in insects after ash fertilization. *Insect Science*, 2009, 16(1) : 93-98.
- [17] Sun H X, Xia Q, Zhou Q, Zhang G R. Accumulation and excretion of nickel in *Spodoptera litura* Fabricius larvae fed on diets with Ni²⁺. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51(6) : 569-574.
- [18] Sun H X, Xia Q, Tang W C, Zhang G R, Dang Z. Regulation of energy reserves in the hemolymph of *Spodoptera litura* Fabricius larvae under nickel stress. *Acta Entomologica Sinica*, 2010, 3(4) : 361-368.
- [19] Bahadorani S, Hilliker A J. Biological and behavioral effects of heavy metals in *Drosophila melanogaster* adults and larvae. *Journal of Insect Behavior*, 2009, 22(5) : 399-411.
- [20] Eraly D, Hendrickx F, Bervoets L, Lens L. Experimental exposure to cadmium affects metallothionein-like protein levels but not survival and growth in wolf spiders from polluted and reference populations. *Environmental Pollution*, 2010, 158(6) : 2124-2131.
- [21] Li J Q, Shen Z R, Zhao Z M, Luo Y J. Biology and ecology of the wolf spider *Pirata subpiraticus*. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9) : 1478-1484.
- [22] Zhang Z T, Pang Z L, Liang Z A, Peng Y, Du R Q. Distribution of heavy metals in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) and their effect on activities of antioxidant enzymes. *Acta Entomologica Sinica*, 2010, 53(6) : 618-625.
- [23] Zhang Z T, Xia M, Peng Y, Du R Q. Heavy metal levels in soil and their effects on biological characteristics of *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) in different habitats in Nanyang, Henan. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52(9) : 994-999.
- [24] Tack F M G, Bogaert N, Verloo M G, Hendrickx F, Maelfait J P, Mertens J. Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in woodlouse (*Oniscus asellus*). *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2000, 78(2) : 149-158.
- [25] Uba S, Uzairu A, Okunola O J. Content of heavy metals in *Lumbricus Terrestris* and associated soils in dump sites. *International Journal of Environmental Research*, 2009, 3(3) : 353-358.
- [26] Hendrickx F, Maelfait J P, Langenbick F. Absence of cadmium excretion and high assimilation result in cadmium biomagnification in a wolf spider. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2003, 55(3) : 287-292.
- [27] Vijver M G, van Gestal C A M, Lanno R P, van Straalen N M, Peijnenburg W J G M. Internal metal sequestration and its ecotoxicological relevance: a review. *Environmental Science and Technology*, 2004, 38(18) : 4705-4712.
- [28] Roelofs D, Janssens T K S, Timmermans M J T N, Nota B, Mariën J, Bochdanovits Z, Ylstra B, van Straalen N M. Adaptive differences in gene expression associated with heavy metal tolerance in the soil arthropod *Orchesella cincta*. *Molecular Ecology*, 2009, 18(5) : 3227-3239.
- [29] Chen H G, Jia X P, Lin Q, Ma S W, Cai W G, Wang Z H. Accumulation and release characteristics of heavy metals in *Crassostrea rivalaris* under mixed exposure. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(4) : 922-927.
- [30] Wilczek G, Babczyńska A. Heavy metals in the gonads and hepatopancreas of spiders (Araneae) from variously polluted areas. *Ekologia-Bratislava*, 2000, 19(3) : 283-292.

参考文献:

- [17] 孙虹霞, 夏嫄, 周强, 张古忍. 斜纹夜蛾幼虫对食物中重金属 Ni²⁺ 的积累与排泄. *昆虫学报*, 2008, 51(6) : 569-574.
- [18] 孙虹霞, 夏嫄, 唐文成, 张古忍, 党志. Ni²⁺ 胁迫对斜纹夜蛾幼虫血淋巴中能量物质水平的适应性调节. *昆虫学报*, 2010, 3(4) : 361-368.
- [21] 李剑泉, 沈佐锐, 赵志模, 罗雁婕. 拟水狼蛛的生物学生态学特性. *生态学报*, 2002, 22(9) : 1478-1484.
- [22] 张征田, 庞振凌, 梁子安, 彭宇, 杜瑞卿. 重金属在拟水狼蛛体内的分布及其体内抗氧化酶活性的影响. *昆虫学报*, 2010, 53(6) : 618-625.
- [23] 张征田, 夏敏, 彭宇, 杜瑞卿. 河南南阳不同生境土壤重金属含量及其对拟水狼蛛生物学特性的影响. *昆虫学报*, 2009, 52(9) : 994-999.
- [29] 陈海刚, 贾晓平, 林钦, 马胜伟, 蔡文贵, 王增焕. 混合暴露条件下近江牡蛎对重金属的积累与释放特征. *应用生态学报*, 2008, 19(4) : 922-927.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 5 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

- Statistical characteristics of eutrophication process in Dianshan Lake CHENG Xi, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua (1355)
- Cadmium assimilation and elimination and biological response in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) fed on Cadmium diets ZHANG Zhengtian, ZHANG Guangduo, ZHANG Hucheng, et al (1363)
- Effect of co-cultivation time on camptothecin content in *Camptotheca acuminata* seedlings after inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi YU Yang, YU Tao, WANG Yang, et al (1370)
- Relationship between frequency of sandstorms and air humidity as well as plant phenology: a case study from the Minqin desert area CHANG Zhaofeng, WANG Yaolin, HAN Fugui, et al (1378)
- Genetic diversity and evolution relationship on mtDNA D-loop in Tibetan yaks ZHANG Chengfu, XU Lijuan, JI Qiumei, et al (1387)
- Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in *Pinus koraiensis* dominated broadleaved mixed forest LI Meng, DUAN Wenbiao, CHEN Lixin, et al (1396)
- Soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism under different vegetation in Ziwuling mountain in the Loess Plateau, China XING Xiaoyi, HUANG Yimei, HUANG Haibo, et al (1403)
- Soil carbon, nitrogen and microbiological characteristics during bamboo high-speed growth WANG Xueqin, ZHANG Qichun, YAO Huaiying (1412)
- Effects of long-term increased soil N on leaf traits of several species in typical Inner Mongolian grassland HUANG Juying, YU Hailong, YUAN Zhiyou, et al (1419)
- Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants ZHANG Yuting, WANG Wenhua, SHEN Hong, et al (1428)
- Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou WU Wenshan, CHEN Youling, CAI Meiman, et al (1436)
- Growth and photosynthetic characteristics of *Epimedium koreanum* Nakai in different habitats ZHANG Yonggang, HAN Mei, HAN Zhongming, et al (1442)
- The critical temperature to Huashan Pine (*Pinus armandi*) radial growth based on the daily mean temperature FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (1450)
- The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River MA Qi, LI Aimin, DENG Heli (1458)
- Research on dynamic characteristics of photosynthesis in muskmelon seedling leaves HAN Ruifeng, LI Jianming, HU Xiaohui, et al (1471)
- Effects of different winter covering crops cultivation on methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emission fluxes from double-cropping paddy field TANG Haiming, XIAO Xiaoping, SHUAI Xiqiang, et al (1481)
- Variations in groundwater levels and quality and their effects on vegetation in the western Grubantonggut Desert ZENG Xiaoling, LIU Tong, ZHANG Weibin, et al (1490)
- Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir NING Jiajia, LIU Hui, GU Binhe, et al (1502)
- Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids LIU Songsong, XU Tianfen, WU Qitang, et al (1510)
- Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: evidence from stable carbon and nitrogen isotope analysis LI Bin, WANG Zhijian, JIN Li, et al (1519)
- Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay ZHANG Caixue, CHEN Huiyan, SUN Xingli, et al (1527)
- Study on the supercooling of golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) ZHAO Benliang, ZHANG Jia'en, LUO Mingzhu, et al (1538)
- The effects of rice growth stages on the ovarian development and take-off of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* CHEN Yu, FU Qiang, LAI Fengxiang, et al (1546)
- Cold tolerance of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae) ZHUO Degan, LI Zhaohui, MEN Xingyuan, et al (1553)
- A suggestion on the estimation method of population sizes of *Niviventer confucianus* in Land-bridge island ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (1562)
- The carbon footprint of food consumption in Beijing WU Yan, WANG Xiaoke, LU Fei (1570)
- Anthropogenic phosphorus flow analysis of Hanshan County in Anhui Province FU Yinyin, YUAN Zengwei, WU Huijun, et al (1578)
- A laboratory study of auctions for water rights transactions in inland river basin: a case study of irrigation areas of Heihe river basin DENG Xiaohong, XU Zhongmin (1587)
- Review and Monograph**
- A review of the effect of typhoon on forests LIU Bin, PAN Lan, XUE Li (1596)
- Research progress on the effects of ocean acidification on coral reef ecosystems ZHANG Chenglong, HUANG Hui, HUANG Liangmin, et al (1606)
- Interspecific competition among three invasive *Liriomyza* species XIANG Juncheng, LEI Zhongren, WANG Haihong, et al (1616)
- Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters YU Yu, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (1623)
- Recent advances in studies on dissimilatory Fe(III)-reducing microorganisms LI Huijuan, PENG Jingjing (1633)
- Discussion**
- Ecological vulnerability research for Xilingol League, Northern China XU Guangcai, KANG Muye, Marc Metzger, et al (1643)
- Scientific Note**
- Spatial distribution and species composition of zooplanktons in the eastern tropical Pacific Ocean off Costa Rica LIU Bilin, CHEN Xinjun, JIA Tao, et al (1654)

《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 32 卷 第 5 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 5 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	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:1000717	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:1000717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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