

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

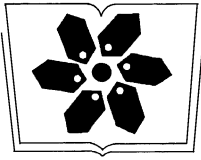
Acta Ecologica Sinica



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, 张光铎, 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/stxb201107131039

张旭, 鲍毅新, 刘军, 林杰君, 沈良良, 王艳妮. 陆桥岛屿环境下社鼠种群数量的估算方法. 生态学报, 2012, 32(5): 1562-1569.

Zhang X, Bao Y X, Liu J, Lin J J, Shen L L, Wang Y N. A suggestion on the estimation method of population sizes of *Niviventer confucianus* in Land-bridge island. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1562-1569.

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, 林杰君, 沈良良, 王艳妮*

(浙江师范大学生态研究所, 金华 321004)

摘要: 根据 2010 年 3 月—11 月在千岛湖地区 2 个岛屿上社鼠(*Niviventer confucianus*)的标志重捕数据, 分别用 Jolly-Seber 法、修正 Lincoln 指数法、Schnabel 法和 MNA 法计算两个岛屿上社鼠种群数量, 并深入探讨在陆桥岛屿环境下估算社鼠种群数量的适用方法。研究结果显示, 在满足 Jolly-Seber 法的条件下, 通过该方法计算的结果与修正 Lincoln 指数法无显著差异。但在野外实验中, 并不是所有的重捕数据都满足 Jolly-Seber 法的条件, 而且该方法不能估算头尾两月的数量。因此, 修正 Lincoln 指数法更适于估算陆桥岛屿环境下社鼠的种群数量。可为今后开展陆桥岛屿环境下鼠类种群生态学研究奠定基础。

关键词: 种群数量; 陆桥岛屿; 标志重捕法; 社鼠(*Niviventer confucianus*); 千岛湖地区

A suggestion on the estimation method of population sizes of *Niviventer confucianus* in Land-bridge island

ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, LIN Jiejun, SHEN Liangliang, WANG Yanni*

Institute of Ecology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China

Abstract: We live-trapped two *Niviventer confucianus* populations from March to November of 2010 in Thousand Island Lake region using the capture-mark-recapture (CMR) method. We used Jolly-Seber method, modified Lincoln index method, Schnabel method and minimum number of animals alive (MNA) method to estimate population sizes of *Niviventer confucianus*, and discussed the applicability of these estimators in white-bellied rats on land-bridge island. Our results showed that there was no significant difference between Jolly-Seber method and modified Lincoln index method. We considered that modified Lincoln index method was more suitable for estimating the population quantity of *Niviventer confucianus* in the land-bridge island. The study can provide basic data for the future study of population ecology of rodent in the land-bridge island.

Key Words: population quantity; land-bridge island; capture mark recapture (CMR); Chinese white-bellied rat (*Niviventer confucianus*); Thousand Island Lake region

种群动态是种群生态学的核心问题, 而种群数量是种群动态研究的一项最基本的内容。标志重捕法 (capture mark recapture, CMR) 是研究野外啮齿动物种群生态最常用的方法之一。国外的研究很早就运用此法估算动物种群数量、捕获率等种群参数^[1]。国内胡振浙^[2]最早介绍了野鼠标志重捕法的操作步骤及经验。夏武平等^[3-4]首次应用标志重捕法研究了大林姬鼠 (*Apodemus peninsulae*) 和黑线姬鼠 (*Apodemus agrarius*) 的种群数量与巢区大小。此后, 标志重捕法被广泛用于黑腹绒鼠 (*Eothenomys melanogaste*)^[5]、布氏田鼠 (*Microtus*

基金项目: 浙江省自然科学基金项目 (Y507080); 浙江省教育厅资助项目 (Y201016779)

收稿日期: 2011-07-13; 修订日期: 2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangyn@zjnu.cn

brandti)^[6]、大仓鼠 (*Cricetulus triton*)^[7]、根田鼠 (*Microtus oeconomus*)^[8]、长爪沙鼠 (*Meriones unguiculatus*)^[9-10]、普通田鼠 (*Microtus arvalis*)^[11]、小林姬鼠 (*Apodemus sylvaticus*)^[12]、三趾跳鼠 (*Dipus sagitta*)^[13]等啮齿动物的种群生态学研究。经长期实践检验,标志重捕法已被国内外学者充分肯定,且收集和处理数据的方法也日臻完善^[14]。目前,利用标志重捕数据估算种群数量的方法很多,如 Jolly-Seber 法^[15-16]、Lincoln 指数法^[17]、Schnabel 法^[18]、MNA 法 (Minimum Number Known to be Alive)^[19]、Paloheimo 法、Marten 法等。对于不同动物,由于其空间及社会行为的差异,估算种群数量的适宜方法也不尽相同^[7]。而对于同一物种,在野外相似的生境下,估算种群数量的方法是否也相同,这是本文重点关注的内容。

湖泊中的陆桥岛屿周围以水为基质相互隔离^[20]。作为一种天然的围栏环境,陆桥岛屿上的啮齿动物基本上没有迁入和迁出,但有正常的出生和死亡,因此对于研究开放种群和封闭种群的数量估算方法均是适用的。对于该生境下鼠类种群数量的研究尚未见报道。因此,于 2010 年 3—11 月采用标志重捕法对千岛湖地区两个岛屿上的社鼠 (*Niviventer confucianus*) 种群进行调查,运用 Jolly-Seber 法、修正 Lincoln 指数法、Schnabel 法、MNA 法四种估算方法计算社鼠种群数量,并深入探讨陆桥岛屿环境下估算社鼠种群数量的适用方法,为今后研究陆桥岛屿环境下鼠类种群生态学奠定基础。

1 研究样地

选取千岛湖地区面积适当、生境类型相似的两个岛屿作为研究样地。样地属于桐子坞岛范围,因无当地名称,故命名为 A 岛 (29°33'27"N, 118°52'51"E; 面积 5.54 hm²) 和 B 岛 (29°33'56"N, 118°53'30"E; 面积 5.80 hm²)。两岛植被类型相似,为亚热带常绿阔叶林,其中乔木以天然次生马尾松 (*Pinus massoniana*) 为主,灌木层主要为朴树 (*Celtis tetrandra*)、满山红 (*Rhododendron mariesii*) 等,草本主要为芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*), 中间夹杂少许矮竹丛。

2 研究方法

2.1 标志重捕

于 2010 年 3—11 月采用 10 m×10 m 网格布笼法,对两个研究岛屿上的社鼠种群进行标志重捕。以红枣为饵料,每月连续标记重捕 10d,每天 15:00 布笼,翌日 7:00 进行检查。采用宛新荣和钟文勤^[21]改进的切趾标志编码系统对捕获的社鼠进行编号,并记录捕获日期、笼号、鼠号、体重、性别、繁殖发育情况、后足长,然后原地释放。

2.2 种群数量估算方法

2.2.1 Jolly-Seber 法

Jolly-Seber 法被认为是目前研究开放种群最好的方法^[22]。而在采用该方法估算种群参数时,普遍重视对研究物种的适用性评价^[9]。对啮齿动物而言,多数研究表明,标志种群个体间的等捕性和取样个体的重捕率是关系到该方法估算种群参数准确和可信的重要基础^[9,23-25]。

方法中所用的符号及其定义^[9]

D_i : 取样时间 (月/年);

i : 捕获或取样的序号;

N_i : 第 i 次取样时的种群大小估计值;

n_i : 第 i 次取样时捕获的个体数;

M_i : 第 i 次取样前,野外种群中全部已标志个体总数的估计值;

m_i : 第 i 次取样的捕获数中,已标志的个体数;

S_i : 第 i 次取样时释放的个体总数,包括过去标志和新标志的;

Z_i : 在第 i 次取样前标志的,在第 i 次取样中未重捕到,但在以后取样中又被重捕到的个体总数;

R_i : 在第 i 次取样时释放的个体总数 (即 S_i) 中以后被陆续重捕到的个体总数;

d_i : 第 i 次取样中取样丧失的个体数;

B_i : 在 i 时刻到 $(i+1)$ 时刻之间, 补充到种群的个体数;

a_i : 重捕取样中已标志个体的比例。

基本关系式: $a_i = m_i/n_i$;

$$M_i = Z_i \cdot S_i / R_i + m_i;$$

$$N_i = M_i / a_i。$$

在估算种群数量之前, 运用 Leslie 法^[26] 对社鼠个体等捕性进行检验。

方法中涉及的主要数学符号及其定义:

i, S_i 同上;

j : 取样点 i 前个体的被捕获次数 ($j = 0, 1, 2, \dots$);

$S_{j,i}$: 第 i 次取样时释放的此前曾被捕获 j 次的个体数;

$b_{j,i}$: 第 i 次取样时再捕获第 $i-1$ 期释放的曾被捕获 j 次的个体数;

$E_{j,i}$: $b_{j,i}$ 的期望值, $E_{j,i} = S_{j,i} \cdot m_{i,i+1} / S_i$ 。其中 $m_{i,i+1}$ 为第 i 次取样时最后被捕获, 并在第 $i+1$ 次取样时再度被捕获的个体数, $m_{i,i+1} = \sum b_{j,i}$ 。

通过公式 $p_i = m_i / (Z_i \cdot S_i / R_i + m_i)$ 对各取样期的重捕率进行检验^[9,25,27-28]。

2.2.2 修正 Lincoln 指数法

在捕获期内, 如果新捕获个体的累积数随时间 (d) 增加而保持不变 (或变化很小), 则可以认为此累积数等于 (或接近于) 样地内实际存在的个体数。在 10d 中, 如果累计数到第 n 天后基本保持稳定, 说明样地内个体已基本捕完, 估算值与实际值接近。所以在使用修正 Lincoln 指数法之前, 必须确定标志期与重捕期。

将每月的 10 个工作日分为两个阶段, 前 n 天为标志期, 后 $(10-n)$ 天为重捕期, 用以下公式计算各月种群数量 N ^[15]:

$$N = \frac{(X+k)(X+k-x)}{2x}$$

式中, X 为标志期捕获的个体总数, k 为重捕期捕获的个体总数, x 为重捕期重捕个体数。

2.2.3 Schnabel 法

通过多次的标志重捕, 获得数据。

n_i : 第 i 次取样时, 捕获个体的总数;

m_i : 第 i 次取样的捕获动物中, 已标志个体的总数;

U_i : 第 i 次取样过程中, 新标志并释放个体的总数;

M_i : 第 i 次取样时, 种群中已标志的个体总数。

通常情况下, $n_i = m_i + U_i$ 。

根据以上这些数据, 使用如下公式估算各月种群数量 N ^[18]:

$$N = \frac{\sum (n_i M_i^2)}{\sum (M_i m_i)}$$

2.2.4 MNA 法

MNA 法, 又称枚举法, 即已知最小存活数量, 各月实际捕获数量即为各月种群数量 N 。

3 结果

取样期间共释放 1916 笼次, 捕获社鼠 150 只, 其中 A 岛释放 1142 次, 捕获 87 只; B 岛释放 774 次, 捕获 63 只。分别用不同的方法对两个岛屿上社鼠种群数量进行计算。

3.1 A 岛估算结果

根据重捕数据, 运用 Leslie 法对 A 岛社鼠个体的等捕性进行检验, 结果显示不同捕获次数个体的重捕率没有差异 ($\chi^2 = 14.18$, $df = 35$, $P > 0.05$, 表 1)。另外, 各取样期的重捕率 (p_i) 最低为 78.3%, 最高为 93.1%, 平

均重捕率为 86.7% (表 2)。一般认为,重捕率至少达到 50% 才能得出较为合理的估计值,并使估计误差大大减小^[25]。该结果表明 A 岛社鼠个体间具等捕性,可满足 Jolly-Seber 法估算种群参数的前提条件。

表 1 A 岛社鼠等捕性的检验结果

Table 1 Verification of the equal trappability of *Niviventer confucianus* in A island

取样期 <i>i</i> Sampling period (<i>i</i> =1,2,3,...,9)	<i>j</i>							<i>S_i</i>	<i>m_{i,i+1}</i>	
	0	1	2	3	4	5	6			7
1. 释放个体数(<i>s</i>)	27								27	
2. 再捕获个体数(<i>b</i>)	19									19
再捕获期望值(<i>E</i>)	13.37									
2. 释放个体数(<i>s</i>)	15	19							34	
3. 再捕获个体数(<i>b</i>)	12	6								18
再捕获期望值(<i>E</i>)	7.94	10.06								
3. 释放个体数(<i>s</i>)	12	12	6						30	
4. 再捕获个体数(<i>b</i>)	9	10	3							22
再捕获期望值(<i>E</i>)	8.80	8.80	4.40							
4. 释放个体数(<i>s</i>)	18	10	10	4					42	
5. 再捕获个体数(<i>b</i>)	11	5	6	1						23
再捕获期望值(<i>E</i>)	9.86	5.48	5.48	2.20						
5. 释放个体数(<i>s</i>)	5	11	4	6	2				28	
6. 再捕获个体数(<i>b</i>)	4	6	3	6	1					20
再捕获期望值(<i>E</i>)	3.57	7.86	2.86	4.29	1.43					
6. 释放个体数(<i>s</i>)	3	4	6	4	9	1			27	
7. 再捕获个体数(<i>b</i>)	1	3	2	1	5	0				12
再捕获期望值(<i>E</i>)	1.33	1.78	2.67	1.78	4.00	0.44				
7. 释放个体数(<i>s</i>)	1	1	3	2	1	5	1		14	
8. 再捕获个体数(<i>b</i>)	1	1	3	1	1	3	1			11
再捕获期望值(<i>E</i>)	0.73	0.73	2.20	1.47	0.73	3.67	0.79			
8. 释放个体数(<i>s</i>)	4	1	1	3	1	1	3	1	15	
9. 再捕获个体数(<i>b</i>)	1	1	1	2	1	0	2	1		9
再捕获期望值(<i>E</i>)	2.40	0.60	0.60	1.80	0.60	0.60	1.80	0.60		
χ^2 检验	$\chi^2 = 14.18, \chi^2 < \chi_{0.05}^2 = 49.8, df = 35, P > 0.05$									

表 2 A 岛社鼠种群标志重捕数据、重捕率 *p_i* 及估算种群参数结果

Table 2 CMR data, the recaptured probability (*p_i*) and the estimated population parameter of *Niviventer confucianus* in A island

取样期 <i>i</i> Sampling period	<i>D_i</i>	<i>n_i</i>	<i>m_i</i>	<i>S_i</i>	<i>d_i</i>	<i>R_i</i>	<i>Z_i</i>	<i>p_i</i>	<i>a_i</i>	<i>M_i</i>	<i>N_i</i>	<i>B_i</i>
1	2010-03	27	0	27	0				0.000	0.00		
2	2010-04	34	19	34	0	24	1	0.931	0.559	20.42	36.53	14.61
3	2010-05	30	18	30	0	24	4	0.783	0.600	23.00	38.33	18.69
4	2010-06	43	25	42	1	26	3	0.838	0.581	29.85	51.38	3.70
5	2010-07	28	23	28	0	19	2	0.886	0.821	25.95	31.61	2.69
6	2010-08	27	24	27	0	14	1	0.926	0.889	25.93	29.17	1.06
7	2010-09	14	13	14	0	11	2	0.836	0.929	15.55	16.74	4.47
8	2010-10	15	11	15	0	9	1	0.868	0.733	12.67	17.29	
9	2010-11	14	11	12	2				0.786			

根据 A 岛每个月新捕获社鼠的累计数可以看出,除 2010 年 6 月新捕获个体的累计数在 8d 内一直保持增长趋势,其余 8 个月的累计数到第 5 天后已基本保持稳定(图 1)。故将每月的 10 个工作日分为两个阶段,前

5d 为标志期,后 5d 为重捕期。

运用 4 种方法估算 A 岛社鼠种群数量的结果显示,不同方法计算结果的变化趋势基本一致,上半年数量处于高峰,而下半年数量较低(图 2)。通过 *T* 检验,4 种方法估算社鼠种群数量存在一定差异。Jolly-Seber 法和修正 Lincoln 指数法对 A 岛社鼠种群数量估算结果都显著高于 Schnabel 法和 MNA 法,Jolly-Seber 法与修正 Lincoln 指数法估算结果无显著差异,MNA 法与 Schnabel 法估算结果也无显著差异(表 3)。

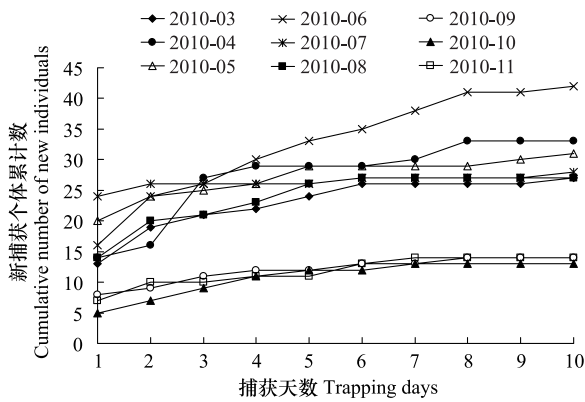


图 1 A 岛各月新捕获社鼠个体的累计数

Fig. 1 The cumulative number of new individuals captured in each month in A island

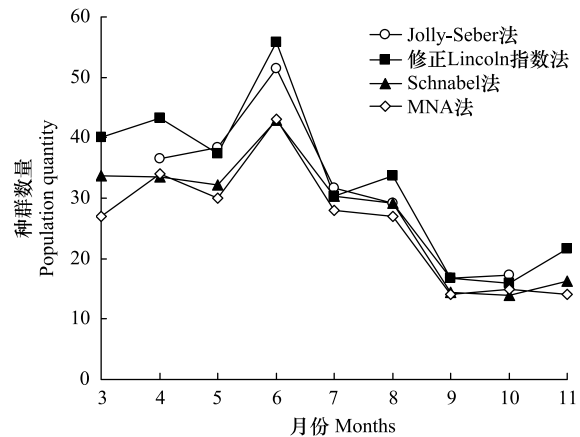


图 2 4 种不同方法对 A 岛社鼠种群数量估算结果

Fig. 2 Population quantity of *Niventer confucianus* with four different methods in A island

表 3 不同方法估算 A 岛社鼠种群数量的 *T* 检验结果

Table 3 T-test results of population quantity of *Niventer confucianus* with four different methods in A island

方法 Methods	<i>T</i> 检验结果 Results of <i>T</i> -test		
	MNA 法	修正 Lincoln 指数法	Schnabel 法
修正 Lincoln 指数法	$t = -3.749, df = 6, P = 0.010^{**}$		
Schnabel 法	$t = -1.395, df = 6, P = 0.426$	$t = 3.046, df = 6, P = 0.026^*$	
Jolly-Seber 法	$t = -4.036, df = 6, P = 0.008^{**}$	$t = 1.344, df = 6, P = 0.114$	$t = -3.125, df = 6, P = 0.018^*$

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

3.2 B 岛估算结果

根据 B 岛 2010 年 3 月—11 月的重捕数据分析(表 4),虽然其中有 4 个月的重捕率超过 50%,但却有 3 个月由于捕获数量太少导致 m_i 为 0,从而无法计算重捕率。重捕率大小直接关系到 Jolly-Seber 法的可适用性,因此我们认为不适宜采用 Jolly-Seber 法估算 B 岛社鼠种群数量。

表 4 B 岛社鼠种群标志重捕数据、重捕率 p_i 及估算种群参数结果

Table 4 CMR data, the recaptured probability (p_i) and the estimated population parameter of *Niventer confucianus* in B island

取样期 i Sampling period	D_i	n_i	m_i	S_i	d_i	R_i	Z_i	p_i
1	2010-03	35	0	35	0			
2	2010-04	46	27	46	0	27	1	0.941
3	2010-05	27	23	27	0	16	4	0.773
4	2010-06	24	20	24	0	8	0	1.000
5	2010-07	9	0	9	0	6	0	—
6	2010-08	7	1	7	0	3	0	1.000
7	2010-09	3	0	3	0	3	0	—
8	2010-10	3	0	3	0	1	0	—
9	2010-11	1	0	1	0			

从图 3 可以看出 B 岛各月累计数基本在第 6 天后已保持稳定。故将每月的 10 个工作日分为两个阶段,前 6d 为标志期,后 4d 为重捕期,用修正 Lincoln 指数法公式估算种群数量。

3 种方法估算 B 岛社鼠种群数量的结果显示,每月种群数量变化整体趋势基本一致,与 A 岛相似,上半年数量处于高峰,而下半年数量较低(图 4)。通过 T 检验,3 种方法估算社鼠种群数量存在一定差异。修正 Lincoln 指数法对 B 岛社鼠种群数量估算结果都显著高于 Schnabel 法和 MNA 法,MNA 法与 Schnabel 法估算结果无显著差异(表 5)。

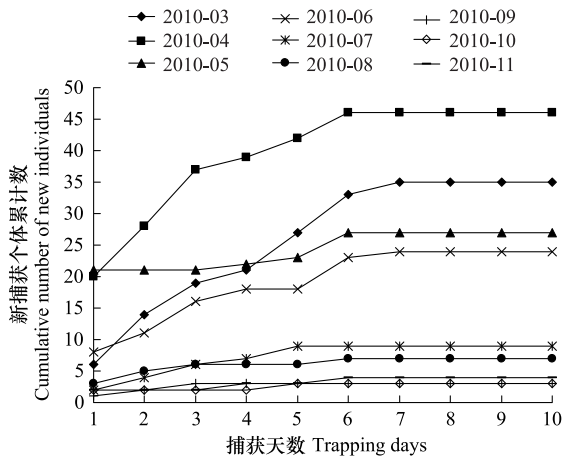


图 3 B 岛各月新捕获社鼠个体的累计数

Fig. 3 The cumulative number of new individuals captured in each month in B island

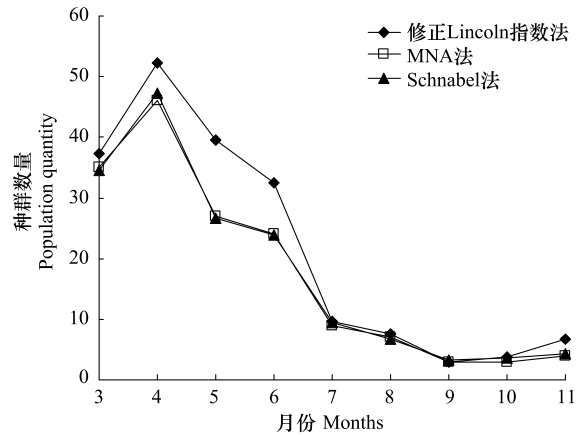


图 4 3 种方法对 B 岛社鼠种群数量估算结果

Fig. 4 Population quantity of *Niventer confucianus* with three different methods in B island

表 5 不同方法估算 B 岛社鼠数量的 T 检验结果

Table 5 T-test results of population quantity of *Niventer confucianus* with three different methods in B island

方法 Methods	T 检验结果 Results of T-test	
	MNA 法	修正 Lincoln 指数法
修正 Lincoln 指数法	$t = 2.611, df = 8, P = 0.032^*$	
Schnabel 法	$t = -1.003, df = 8, P = 0.346$	$t = 2.421, df = 8, P = 0.042^*$

* : $P < 0.05$

4 讨论

标志重捕取样法是啮齿动物种群生态学的基本方法。根据标志重捕数据估算种群参数的方法有很多^[29],但这些方法的可行性对于不同生境中鼠类种群的研究存在一定差异。本研究结果显示,A 岛的社鼠种群个体间具等捕性,且较高的标志取样重捕率保证了 Jolly-Seber 法估算结果有较高置信度;而对于 B 岛,由于后期捕获率较低导致无法计算重捕率。因此,Jolly-Seber 法对 A 岛社鼠标志种群参数估算是适用的,但对于 B 岛却不适用。在满足个体间具有等捕性的前提条件下,采用 Jolly-Seber 法估算加州田鼠 (*Microtus californicus*)、大仓鼠、黑线仓鼠 (*Cricetulus barabensis*)、莫氏田鼠 (*Microtus maximowiczii*) 的种群参数,获得的结果误差较小,且优于枚举法 MNA 法,可信度较高^[19,22,30]。Bryja^[31]同时运用 Jolly-Seber 法和 MNA 法估算普通田鼠的种群数量,发现后者所得的数据要比 Jolly-Seber 法低 28%。艾尼瓦尔等对普通田鼠的研究结果也表明 MNA 法较 Jolly-Seber 法的估算结果低^[11]。本研究表明,对于 A 岛社鼠,Jolly-Seber 法和 MNA 法各月所得数据存在显著差异,MNA 法比 Jolly-Seber 法平均低 35.8%。另外,Eberhardt 认为修正 Lincoln 指数法的估算种群参数的结果优于 Schnabel 法^[17]。本研究中 A、B 两岛上用 Schnabel 法与 MNA 法所得结果均无显著差异,而且 B 岛上修正 Lincoln 指数法估算结果与 Schnabel 法、MNA 法都有显著差异,因此,Jolly-Seber 法和修正 Lincoln 指数法要优于 Schnabel 法、MNA 法。本研究结果显示,Jolly-Seber 法仅对 A 岛适用,而对 B 岛并不适

用,在估算社鼠种群数量时,该方法无法计算头尾两月的数据,另外,Jolly-Seber法与修正Lincoln指数法估算的结果无显著差异。因此,在陆桥岛屿环境下,修正Lincoln指数法更适用于估算社鼠种群数量。

岛屿是一种天然的围栏,产生的围栏效应(fence effect)会对孤立岛屿上的小型哺乳动物种群产生影响。例如,种群增长达到较高的密度后,由于资源的过度消耗,种群数量急剧下降^[32]。本研究表明,A、B两岛均是在种群数量超过50只后开始下降。可见,在面积和生境相似的岛屿上,环境承载力也相似。这是导致A岛6月后数量开始下降、B岛4月后数量开始下降的主要原因。在研究过程中,发现虽然两岛的生境类型基本相似,但B岛上青毛硕鼠(*Berylmys bowersi*)的数量要明显多于A岛,而且6-8月在该岛上发现有野猪活动的痕迹,因此种间竞争和捕食对该岛种群数量变动的影响很大,这也是导致B岛在6月之后数量相对于A岛下降的更快的主要原因。另外,岛屿环境的特殊性会对社鼠种群数量的季节性变化产生一定的影响。孙波等分别于2007年9—11月和2008年5月运用夹夜法对千岛湖部分岛屿的社鼠进行了研究。9—11月捕获社鼠123只,5月仅1个月捕获社鼠648只。可见,千岛湖中型岛屿上社鼠数量5月要高于9—11月。由于9—10月的繁殖高峰,到第2年3月社鼠种群便会增长到较高水平^[33-34]。本研究结果与以往相关研究结果相似。而同纬度相邻地区浙江天目山和金华北山的社鼠数量5月均处于低潮期,9—11月为高峰期^[35-36]。该结果与岛屿环境下的有较大差异,表明岛屿环境对社鼠数量季节消长的影响与陆地环境的不同。

References:

- [1] Wu X D. Study on the separation, population composition and ecological life of Bandt's vole by CMR. *Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture and Animal Husbandry*, 1988, 9(1): 98-106.
- [2] Hu Z Z. Methods and experience of voles by using CMR. *Chinese Journal of Zoology*, 1959, 3(9): 429-432.
- [3] Xia W P. On the population and home range of the greater wood mouse, *Apodemus peninsulae*. *Acta Zoologica Sinica*, 1961, 13(1/4): 171-182.
- [4] Xia W P, Long Z. Some ecological data of population and home range of *Apodemus agrarius* in Changyang. *Research on rat eradication and rodent biology (III)*, Beijing: Science Publishing House, 1978, 85-91.
- [5] Bao Y X, Zhuge Y. An ecological study on *Eothenomys melanogaste*. *Acta Theriologica Sinica*, 1986, 6(4): 297-305.
- [6] Shi D Z, Hai S Z, Guo X H, Liu X L. Study on seasonal survival rates of the populations of *Microtus brandti* in different periods. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1998, 25(3): 271-275.
- [7] Wang S Q, Yang H F, Hao S S. Activity range, activity rhythm and food preference in ratlike hamster (*Cricetulus triton*). *Chinese Journal of Zoology*, 1996, 31(4): 28-31.
- [8] Jiang Y J, Wei S W, Wang Z W, Zheng X W, Cui R X, Sun R Y. Productivity investigation of the root vole (*Microtus oeconomus*) population in the haibei alpine bushland (*potentilla fruticosa*) I. population dynamics. *Acta Theriologica Sinica*, 1991, 11(4): 270-278.
- [9] Liu W, Wan X R, Wang G H, Liu W D, Zhong W Q. Applicability on Estimating Population Parameters of Mongolian Gerbil (*Meriones unguiculatus*) by the Jolly-Seber Model. *Acta Theriologica Sinica*, 2004, 24(1): 36-41.
- [10] Wang Y N, Liu W, Wang G H, Wan X R, Zhong W Q. Home-range sizes of social groups of Mongolian gerbils *Meriones unguiculatus*. *Journal of Arid environments*, 2011, 75(1): 132-137.
- [11] Anwar T, Mahmut H, Airoldi J P. Study of the Population Ecology of *Microtus arvalis*: Population Dynamics and Structure in the Set Aside Area around the Farmland. *Chinese Journal of Zoology*, 2005, 40(5): 43-49.
- [12] Anwar T, Mahmut H, Airoldi J P, Abdulla A. Population dynamics and structure of wood mice (*Apodemus sylvaticus*) in the set a side area around the farmland. *Acta Theriologica Sinica*, 2007, 27(1): 96-100.
- [13] Ji C N, Wu X D, Yu Y D, Zhang F S, Yuan S, E J, Cao F H. Population dynamics of northern three-toed jerboa under different disturbance in desert region. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2009, 30(2): 145-150.
- [14] Liu W, Zhong W Q, Wan X R. Advance in the research of home range in rodent. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(4): 36-40.
- [15] Jolly G M. Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration-stochastic model. *Biometrika*, 1965, 52(1/2): 225-247.
- [16] Seber G A F. A note on the multiple-recapture census. *Biometrika*, 1965, 52(1/2): 249-259.
- [17] Eberhardt L L. Population estimates from recapture frequencies. *The Journal of Wildlife Management*, 1969, 33(1): 28-39.
- [18] Hayne D W. Two methods for estimating population from trapping records. *Journal of Mammalogy*, 1949, 30(4): 399-411.
- [19] Krebs C J. Demographic changes in fluctuating population of *Microtus californicus*. *Ecological Monographs*, 1966, 36(2): 239-273.
- [20] Zhang J C. Nested analysis of vertebrate communities in islands of the Thousand Island Lake region. Zhejiang University, 2008.
- [21] Wan X R, Zhong W Q. A revised convenient toe-clipping system for rodent species. *Chinese Journal of Zoology*, 2000, 35(4): 22-24.
- [22] Zhang Z B, Zhu J, Hang H F. Estimating some population parameters of *Cricetulus triton* and *C. barabensis* by using CMR and Jolly-Seber methods.

- Acta Ecologica Sinica, 1993, 13(2): 115-120.
- [23] Jolly G M, Dickson J M. The problem of unequal catch-ability in mark-recapture estimation of small mammal populations. Canadian Journal of Zoology, 1983, 61(4): 922-927.
- [24] Nichols J D, Pollock K H. Estimation methodology in contemporary small mammal capture-recapture studies. Journal of Mammalogy, 1983, 64(2): 253-260.
- [25] Hilborn R, Redfield J A, Krebs C J. On the reliability of enumeration for marked and recapture census of voles. Canadian Journal of Zoology, 1976, 54(6): 1019-1024.
- [26] Leslie P H, Chitty D, Chitty H. The estimation of population parameters from data obtained by means of the capture-recapture method. II. An example of the practical application of the method. Biometrika, 1953, 40(1/2): 137-169.
- [27] Wan X R, Zhong W Q. Discussion on the survivorship estimation for the Jolly-Seber model. Chinese Journal of Zoology, 2001, 36(5): 36-39.
- [28] Krebs C J, Boonstra R. Trappability estimates for mark-recapture data. Canadian Journal of Zoology, 1984, 62(12): 2440-2444.
- [29] Ding Y Q. Mathematical ecology of insects. Beijing: Science Publishing House, 1994, 100-110.
- [30] Wu X D. Estimating some population parameters of *Microtus maximowiczii* by using Jolly-Seber methods//Studies on mammal biology in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995, 25-30.
- [31] Bryja J, Tkadlec E, Nesvadbova J. Comparison of enumeration and Jolly-Seber estimation of population size in the common vole, *Microtus arvalis*. Acta theriologica, 2001, 46(3): 279-285.
- [32] Krebs H J, Keller B J, Tamarin R H. *Microtus* population biology: demographic changes in fluctuating populations of *M. ochrogaster* and *M. pennsylvanicus* in southern Indiana. Ecology, 1969, 50(4):587-607.
- [33] Sun B, Bao Y X, Zhang L L, Zhao Q Y, Hu Z Y. Preliminary Study on Relative Fatness of *Niviventer confucianus* on Islands of Qiandao Lake Region. Zoological Research, 2009a, 30(5):545-552.
- [34] Sun B, Bao Y X, Zhang L L, Zhao Q Y. Age-structure and reproduction investigation on *Niviventer confucianus* in Qiandao Lake in autumn. Acta Theriologica Sinica, 2009b, 29(3):112-119.
- [35] Bao Y X. A Summary of Studies on *Rattus Niviventer*. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Science), 1993, 16(2):50-54.
- [36] Bao Y X, Zhuge Y. Ecological study of rodents in Jinhua Beishan Mountain. Acta Theriologica Sinica, 1987, 7(4):266-274.

参考文献:

- [1] 武晓东. 用标志重捕法对布氏田鼠的分居、种群组成和生态寿命的研究. 内蒙古农牧学院学报, 1988, 9(1): 98-106.
- [2] 胡振浙. 野鼠标志流放的方法和经验. 动物学杂志, 1959, 3(9): 429-432.
- [3] 夏武平. 大林姬鼠种群数量与巢区的研究. 动物学报, 1961, 13(1/4):171-182.
- [4] 夏武平, 龙志. 湖北长阳黑线姬鼠种群与巢区的一些生态资料. 灭鼠和鼠类生物研究报告第三集, 北京: 科学出版社, 1978, 85-91.
- [5] 鲍毅新, 诸葛阳. 黑腹绒鼠生态学的研究. 兽类学报, 1986, 6(4): 297-305.
- [6] 施大钊, 海淑珍, 郭喜红, 刘雪龙. 布氏田鼠种群不同变动期的季节存活率研究. 植物保护学报, 1998, 25(3): 271-275.
- [7] 王淑卿, 杨荷芳, 郝守身. 大仓鼠 (*Cricetulus triton*) 的某些生态研究. 动物学杂志, 1996, 31(4): 28-31.
- [8] 姜永进, 魏善武, 王祖望, 郑生武, 崔瑞贤, 孙儒泳. 河北高寒草甸金露梅灌丛根田鼠种群生产力的研究: I. 种群动态. 兽类学报, 1991, 11(4): 270-278.
- [9] 刘伟, 宛新荣, 王广和, 刘文东, 钟文勤. Jolly-Seber 法估算长爪沙鼠种群参数的适用性探讨. 兽类学报, 2004, 24(1): 36-41.
- [11] 艾尼瓦尔·吐米尔, 马合木提·哈力克, Jean-Pierre Airoldi. 农田周围生态保留带中普通田鼠的种群生态学:种群数量动态及结构. 动物学杂志, 2005, 40(5): 43-49.
- [12] 艾尼瓦尔·吐米尔, 马合木提·哈力克, Jean-Pierre Airoldi, 阿不都拉·阿巴斯. 农田生态保留带中小林姬鼠的种群动态和结构. 兽类学报, 2007, 27(1): 96-100.
- [13] 吉晟男, 武晓东, 余奕东, 张福顺, 袁帅, 鄂晋, 曹丰海. 荒漠区不同干扰下三趾跳鼠种群数量动态. 内蒙古农业大学学报, 2009, 30(2): 145-150.
- [14] 刘伟, 钟文勤, 宛新荣. 啮齿动物巢区研究进展. 生态学杂志, 2002, 21(4): 36-40.
- [20] 张竞成. 千岛湖岛屿脊椎动物群落结构嵌套分析. 浙江大学硕士学位论文. 2008.
- [21] 宛新荣, 钟文勤. 一种简易的啮齿动物切趾编码方法. 动物学杂志, 2000, 35(4): 22-24.
- [22] 张知彬, 朱靖, 杨荷芳. Jolly-Seber 法对大仓鼠和黑线仓鼠种群若干参数的估算. 生态学报, 1993, 13(2): 115-120.
- [27] 宛新荣, 钟文勤. Jolly-Seber 法中种群存活率估算的探讨. 动物学杂志, 2001, 36(5): 36-39.
- [29] 丁岩钦. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社, 1994. 100-110.
- [30] 武晓东. Jolly-Seber 模型对莫氏田鼠种群若干参数的估算//张洁主编. 中国兽类生物学研究. 北京: 中国林业出版社, 1995, 25-30.
- [33] 孙波, 鲍毅新, 张龙龙, 赵庆洋, 胡知渊. 千岛湖岛屿化对社鼠的肥满度之影响. 动物学研究, 2009a, 30(5):545-552.
- [34] 孙波, 鲍毅新, 张龙龙, 赵庆洋. 千岛湖秋季社鼠种群年龄结构及繁殖状况初探. 兽类学报, 2009b, 29(3):112-119.
- [35] 鲍毅新. 社鼠的研究概要. 浙江师范大学学报(自然科学版), 1993, 16(2):50-54.
- [36] 鲍毅新, 诸葛阳. 金华北山啮齿类的生态研究. 兽类学报, 1987, 7(4):266-274.

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:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100071, 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:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100071, 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