

# 三峡水库运行后洞庭湖洲滩 小型兽类群落状况

郑普阳<sup>①②</sup> 周训军<sup>①\*</sup> 张美文<sup>①</sup> 王勇<sup>①</sup> 张琛<sup>①</sup> 杨进荣<sup>③</sup>

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

② 中国科学院大学 北京 100049; ③ 吉首大学 吉首 416000

**摘要:** 为了探究三峡工程建成运行后洞庭湖区洲滩生境中小型兽类的群落状况, 对洞庭湖区洲滩生境的小型兽类进行调查。调查采用铗日法, 于 2010 至 2018 年, 对洞庭湖区洲滩小型兽类群落的多样性进行了调查, 并计算优势度、群落多样性指数、均匀性指数。对多样性指数采用  $t$  值法进行比较, 各年份、生境的捕获率及鼠种组成差异则采用卡方检验。2010 至 2018 年, 共布放 34 116 铗日, 捕获可以分辨种类的样本 2 129 只, 主要有啮齿目 (Rodentia) 和鼯形目 (Soricomorpha) 2 类, 共 7 种, 分别是啮齿目的东方田鼠 (*Microtus fortis*)、黑线姬鼠 (*Apodemus agrarius*)、褐家鼠 (*Rattus norvegicus*)、巢鼠 (*Micromys minutes*)、社鼠 (*Niviventer confucianus*)、黄毛鼠 (*R. losea*) 和鼯形目的臭鼯 (*Suncus murinus*)。总捕获率为 6.36%, 东方田鼠、黑线姬鼠捕获率较高, 分别为 1.83%、3.94%。从小型兽类组成看, 黑线姬鼠和东方田鼠在群落中组成的比例较高, 分别为 63.18% 和 29.26%。在调查的 5 类生境中, 植被组成以苔草 (*Carex* sp.)、南荻 (*Miscanthus* sp.) 和美洲黑杨 (*Populus deltoides*) 为主的生境小型兽类群落多样性指数 (1.077 2) 和均匀度指数 (0.666 2) 均最大, 其次是以苔草为主的生境 (多样性指数和均匀度指数分别为 0.927 5、0.572 3)、以南荻为主的生境 (多样性指数和均匀度指数分别为 0.885 6、0.550 2) 和以苔草加南荻为主的生境 (多样性指数和均匀度指数分别为 0.775 6、0.481 9), 以美洲黑杨为主的生境多样性指数 (0.323 6) 和均匀度指数 (0.180 6) 最低, 但其优势度最高, 为 0.881 2。结果表明, 随着三峡工程的运行, 洞庭湖区植被演替发生了变化, 从而引起小型兽类群落动态的变化。在洞庭湖洲滩上, 生境越复杂, 小型兽类物种多样性越高。单一生境下, 人类活动干扰程度越大, 小型兽类物种多样性越低。目前, 黑线姬鼠已经成为洞庭湖洲滩生境的第一优势鼠种。

**关键词:** 三峡水库; 洞庭湖; 小型兽类; 群落多样性; 东方田鼠; 黑线姬鼠

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2020) 02-141-12

## The Situation of Small Mammal Community in Beach of Dongting Lake after the Official Operation of the Three Gorges Reservoir

ZHENG Pu-Yang<sup>①②</sup> ZHOU Xun-Jun<sup>①\*</sup> ZHANG Mei-Wen<sup>①</sup>  
WANG Yong<sup>①</sup> ZHANG Chen<sup>①</sup> YANG Jin-Rong<sup>③</sup>

**基金项目** “一带一路”国家农业鼠害监测及防治技术合作研究 (No. 152111KYSB20160089);

\* 通讯作者, E-mail: zhouxj@isa.ac.cn;

**第一作者简介** 郑普阳, 男, 硕士研究生; 研究方向: 湿地生态学; E-mail: 237448947@qq.com。

收稿日期: 2019-09-23, 修回日期: 2020-01-08 DOI: 10.13859/j.cjz.202002003

① Key Laboratory for Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125; ② University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; ③ Jishou University, Jishou, Hunan 416000, China

**Abstract:** In order to explore the community status of small mammals in Dongting Lake area after the Three Gorges Project, the small mammals in the marshland habitat of Dongting Lake area were investigated. From 2010 to 2018, the diversity of small animal communities in the marshland habitat of Dongting Lake area was investigated by snap traps, and the dominance concentration index, community diversity index and evenness index were calculated. The diversity index was compared by *t* value method, and the capture rate and rodent species composition of each year and habitat were tested by Chi-square test. The results of investigation as follow. From 2010 to 2018, a total of 34 116 traps were placed, 2 129 samples of distinguishable species were captured. Rodentia and Soricomorpha were the main species of small mammals captured in Dongting Lake beach habitat, including 7 species, *Microtus fortis*, *Apodemus agrarius*, *Rattus norvegicus*, *Micromys minutus*, *Niviventer confucianus*, *R. losea* and *Suncus murinus*. The total capture rate is 6.36%, among them, the capture rate of *Microtus fortis* and *A. agrarius* was higher, was 1.83% and 3.94% respectively (Table 1). From the composition of small mammals species in Dongting Lake beach, the dominant species are *A. agrarius* and *Microtus fortis*, and their proportion in the community is 63.18% and 29.26% respectively (Table 2). Among the five types of habitats investigated, the diversity index (1.077 2) and evenness index (0.666 2) of the small animal community in the habitats mainly composed of *Carex* sp. + *Miscanthus* sp. + *Populus deltoides* were the largest. It was followed by habitats dominated by *Carex* sp. (diversity index 0.927 5 and evenness index 0.572 3); habitats dominated by *Miscanthus sacchariflorus* (diversity index 0.885 6 and evenness index 0.550 2); and habitats dominated by *Carex* sp. + *Miscanthus* sp. (diversity index 0.775 6 and evenness index 0.481 9). The diversity index (0.323 6) and evenness index (0.180 6) of the habitat dominated by *P. deltoides* was the lowest, but the dominance concentration index was the highest (0.881 2) (Table 6). The results showed that with the operation of the Three Gorges Project, the vegetation succession in Dongting Lake area changed, which caused the dynamic change of the small mammal community. On the marshland of Dongting Lake, the more complex the habitat, the higher the diversity of small mammal species. In the single habitat, the greater the interference of human activities, the lower the diversity of small animal species. At present, the *A. agrarius* has become the first dominant rodent species in the marshland habitat of Dongting Lake.

**Key words:** Three Gorges Reservoir; Dongting Lake; Small mammal; Community diversity; *Microtus fortis*; *Apodemus agrarius*

洞庭湖湿地是我国最大的淡水湖泊湿地生态系统之一, 湿地动植物资源丰富, 已列入国际保护湿地名录。由于人类长期不合理的开发利用, 特别是围湖造田等一系列人类活动影响, 使湿地生态环境遭到严重破坏, 洪涝灾害频繁, 影响了湖区人民的生产生活 (张晓阳等 1995,

王克林等 1998)。为治理长江流域水患, 减少频繁的洪涝灾害, 恢复被破坏的湖泊湿地生态环境和保护湿地生态系统, 改善湖区人民的生产生活水平, 1998 年国家将洞庭湖区列为退田还湖的重点区域之一。张美文 (2006) 研究了退田还湖工程对洞庭湖区小型兽类群落的影

响。但是由于三峡水电站 1994 年正式动工兴建，并于 2003 年开始蓄水发电，于 2009 年全部完工。在三峡工程建成运行后，势必会对洞庭湖的水位、水情会产生影响，亦必然对其生态环境产生影响（黄维等 2016）。三峡水库运行后洲滩小型兽类群落演替又有新的动向，故在此进行分析。

已有资料表明，洞庭湖区域主要小型兽类捕获的有鼠科（Muridae）家鼠属（*Rattus*）的褐家鼠（*R. norvegicus*）、黄胸鼠（*R. flavipectus*）、黄毛鼠（*R. losea*），小鼠属（*Mus*）的小家鼠（*M. musculus*），姬鼠属（*Apodemus*）的黑线姬鼠（*A. agrarius*），白腹鼠属（*Niviventer*）的社鼠（*N. confucianus*）、针毛鼠（*N. fulvescens*），巢鼠属（*Micromys*）的巢鼠（*M. minutus*）以及仓鼠科（Cricetidae）田鼠属（*Microtus*）的东方田鼠（*M. fortis*）；食虫目动物有猬科（Erinaceidae）刺猬属（*Erinaceus*）的普通刺猬（*E. europaeus*）和臭鼩科（Soricidae）臭鼩属（*Suncus*）的臭鼩（*S. murinus*）等（王勇等 2003，张美文等 2003）。其中，对主要优势种类褐家鼠、黄胸鼠、小家鼠、黑线姬鼠、东方田鼠、社鼠的生物学特性均有较多研究（郭聪等 1994，王勇等 1994，陈安国等 1995，郭聪等 1999，张美文等 2000，王勇等 2004，张美文等 2006，2007a）。在洞庭湖洲滩栖息的小型兽类，过去主要是东方田鼠（李波等 2007，冯雷等 2017），而随着三峡水库的运行，枯水季节时，黑线姬鼠和褐家鼠也已较多侵入洲滩栖息。东方田鼠为洞庭湖湖区的重要农业害鼠，黑线姬鼠、褐家鼠也是当地农业生产区域的主要害鼠种类。

小型兽类是自然生态系统中食物链和能量流动的重要环节，对维持生态平衡具有重要作用，也与人类的生产、生活及身体健康等有着密切联系。一些种类为人类所利用（郑智民等 2012），也有些种类能对人类经济和健康造成严重干扰及危害，如害鼠种群的大暴发（夏武平 1996）。在洞庭湖区，2007 年东方田鼠大暴发曾成为震惊全国的重大“生态事件”，其成灾原

因与人类社会经济活动密切相关（张美文等 2007b）。随着人类社会经济活动对生态环境的影响，曾经以东方田鼠为绝对优势种的洞庭湖洲滩生境，其他鼠种已大量进入，如黑线姬鼠和褐家鼠，可能的原因是三峡水库运行后，洞庭湖洲滩受洪水淹没强度降低导致的生态反应（Zhang et al. 2014）。因此需要密切关注三峡工程投入使用后小型兽类群落的演替过程，了解小型兽类群落对人类重大生态工程的生态响应。这有利于更全面地掌握人类大型工程的区域环境影响，为丰富相关动物生态学理论提供长期系统的监测资料，从一个侧面解释动物适应环境的行为对策。

## 1 研究区域概况

洞庭湖位于中国湖南省北部，长江中游荆江以南（27°39′ ~ 29°51′ N，111°19′ ~ 113°34′ E）。属于典型亚热带季风气候，四季分明，雨量充沛，年平均气温 16 ~ 17 °C，年平均降雨量 1 200 ~ 1 550 mm。洞庭湖不仅汛期长，而且水位变幅大，如城陵矶站多年平均年水位变幅 13.35 m，最小 10.67 m，最高达 17.16 m（谢永宏等 2014）。洞庭湖区是全国重要的商品粮、棉基地及淡水渔业生产基地（张光贵 1997）。长期以来，由于经济发展和人类对自然生态系统的干扰，致使长江中上游、四水流域水土流失严重，湖区泥沙大量淤积，湖面面积急剧减少。洞庭湖分为东洞庭湖、西洞庭湖、南洞庭湖 3 个部分（陆胤昊 2009）。沿洞庭湖区包括 9 个县市，分别是岳阳县、华容县、南县、安乡县、汉寿县、益阳县、湘阴县、沅江市、汨罗市。

## 2 研究方法

### 2.1 调查样地的设置及样地概况

为了使调查样地更具有代表性，本研究根据历史调查结果，围绕整个洞庭湖选出五个不同植被类型的湖滩调查地点，于 2010 至 2018 年间的春、秋、冬每个季度进行一次小型兽类

调查, 由于夏季洞庭湖处于高水位状况, 调查点洲滩都处于淹没状态, 故不能进行调查, 即在每年的 1 月、4 月和 10 月进行铗日法调查。调查点区域、生境如下。

岳阳县麻塘镇春风村 (29°24.7' N, 113°09.6' E) (简称麻塘), 此生境植被结构比较单一, 主要优势种为苔草 (*Carex* sp.), 盖度为 100%, 苔草下零星分布有水田碎米荠 (*Cardamine lyrata*)、看麦娘 (*Alopecurus aequalis*) 等, 人为干扰较少。

岳阳市采桑湖镇中国科学院洞庭湖湿地生态系统观测研究站样地 (29°52.9' N, 112°74.7' E) (简称采桑湖), 该生境植被结构以苔草为主, 盖度为 60%, 另外种植有部分芦苇 (*Phragmites australis*) 和南荻 (*Miscanthus* sp.), 盖度为 40%。芦苇和南荻于每年冬季进行收割, 因此, 冬季有一定的人类活动干扰, 其他季节人为干扰较少。

大通湖区北洲子镇 (29°10.1' N, 112°47.7' E) (简称北洲子), 该生境种植有大面积的芦苇和南荻, 盖度为 80%, 部分地区有少量苔草, 约占 20%。与采桑湖一样, 冬季有一定的人类活动干扰, 其他季节人为干扰较少。

沅江市创业垸南嘴镇目南村堤外目平湖 (28°59.6' N, 112°15.1' E) (简称南嘴), 2000 年洞庭湖大范围移植美洲黑杨 (*Populus deltoides*) 后, 该生境植被结构发生了改变, 以美洲黑杨为优势物种, 树下零星分布有苔草、藨草 (*Phalaris arundinacea*)、茼蒿 (*Artemisia selengensis*) 等杂草, 人为干扰较大。

沅江市南大镇 (29°01.3' N, 112°45.2' E) (简称南大), 该生境植被结构较为复杂, 美洲黑杨、南荻、苔草相互镶嵌, 美洲黑杨是通过人工移植进入该生境的, 并通过繁殖逐渐成为该地区的优势物种, 人为干扰较大。

## 2.2 主要调查方法

本研究主要进行野外小型兽类群落的调查分析。小型兽类调查采用铗日法, 每年 1、4

和 10 月, 分别对 5 个调查地点小型兽类进行铗捕。在露出的洲滩上, 采用大号铁板铗 (江西贵溪捕鼠器材厂生产), 用生葵花子作诱饵, 沿直线放置, 每 5 m 1 铗, 两行相距 150 m 以上, 每个样区设样线 3~4 条, 每条样线布放铗 80~100 个。下午或傍晚布放, 第二天上午回收。对捕获的所有小型兽类逐个进行种类鉴别, 然后解剖测定生物量, 包括体长、尾长、全体重、胴体重, 体长、尾长使用直尺测量, 精确至 1 mm, 体重使用电子称 (香山 EK813) 称量, 精确至 0.1 g, 并检查其繁殖状况。

## 2.3 多样性分析

**2.3.1 小型兽类密度 (铗日法)** 除特别说明外, 小型兽类密度均用相对密度表示, 即铗日法的铗捕率 (或上铗率)。小型兽类密度 ( $D$ ) 可由下式计算:  $D(\%) = 100N / T$ , 其中,  $N$  为捕获动物数 (含捕获的动物痕迹, 如脚、尾、血、毛等),  $T$  为铗日数。

**2.3.2 小型兽类群落多样性** 优势度  $P_i = N_i / N$ , 优势集中性指数 (Simpson 指数)  $C = \sum (N_i / N)^2$ , 其中,  $N_i$  为  $i$  物种捕获的个体数,  $N$  为捕获的总个体数。

群落多样性 Shannon-Weiner 指数 (Shannon et al. 1950):  $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$ , 其中,  $P_i$  为优势度。

均匀性指数 (Pielou 1985)  $E = H' / \ln S$ , 其中,  $S$  表示种数。

相似性系数即 Sorenson 指数 (Whittaker 1972)  $S_1 = 2c / (a + b)$ , 式中,  $a$ 、 $b$  为两群落各自的物种数,  $c$  为两群落共有的种数; Whittaker 相似性指数 (Whittaker 1969)  $S_2 = 1 - 0.5 \left( \sum_{i=1}^S |a_i - b_i| \right)$ , 式中,  $a_i$  为物种  $i$  的个体数在群落  $a$  中的比例,  $b_i$  为物种  $i$  的个体数在群落  $b$  中的比例。

**2.3.3 统计分析** 对于 Shannon-Weiner 多样性指数, 采用 Hutcheson (1970) 提出的  $t$  值方法进行比较, 所用统计量为  $t = \frac{H'_i - H'_j}{\sqrt{\text{Var}(H'_i) + \text{Var}(H'_j)}}$ ,

式中,  $H_i$  和  $H_j$  分别为群落  $i$  和群落  $j$  的 Shannon-Weiner 多样性指数,  $\text{Var}(H_i)$  和  $\text{Var}(H_j)$  分别为相应的方差估计, 计算式为  $\text{Var}(H') =$

$$\frac{\sum P_i (\ln P_i)^2 - (\sum P_i \ln P_i)^2}{N} + \frac{S-1}{2N^2},$$

$$\text{其相应的自由度为 } df = \frac{[\text{Var}(H'_i) + \text{Var}(H'_j)]^2}{[\text{Var}(H'_i)]^2 / N_i + [\text{Var}(H'_j)]^2 / N_j},$$

式中,  $P_i$  为优势度,  $S$  为物种数。

所有数据正态性用 Kolmogorov Smirnov 检验, 方差齐性用 Levine 检验, 部分数据经自然对数转换后符合参数分析的条件。采用卡方检验 ( $\chi^2$ ) 比较不同年份、生境的捕获率及鼠种组成差异。未说明的均采用方差分析 (ANOVA) 和 Post-hoc 比较 (LSD 检验) 处理和比较相应数据。相关性分析均以 Pearson 相关系数进行比较。在所有检验中, 显著水平均设定为  $\alpha = 0.05$ 。所有计算和分析均在 Excel 和 SPSS19.0 软件包进行。

### 3 结果与分析

#### 3.1 捕获种类及基本状况

自 2010 年 1 月至 2018 年 10 月在洞庭湖区 5 个调查点进行调查, 每年春、秋、冬季最少调查一次。在洲滩共布放 34 116 铗日, 捕获可以分辨种类的样本 2 129 只, 另有鼠迹 40 铗, 总捕获率 6.36%, 不同年间捕获率差异极显著 ( $\chi^2 = 651.285$ ,  $df = 7$ ,  $P < 0.001$ , 表 1)。在所调查点不同生境捕获的小型兽类主要有啮齿目 (Rodentia) 和鼯形目 (Soricomorpha) 两类, 共 7 种, 以啮齿目为主 (表 2)。

从捕获情况来看 (表 1), 洲滩生境捕获的小型兽类种类有东方田鼠、黑线姬鼠、褐家鼠、巢鼠、臭鼯、社鼠和黄毛鼠 7 种, 其中, 东方田鼠、黑线姬鼠捕获率较高, 分别为 1.83%、3.94%, 褐家鼠次之, 为 0.26%, 巢鼠和臭鼯较低, 为 0.03% 和 0.17%, 社鼠和黄毛鼠只是偶尔捕获。2010 年和 2012 年东方田鼠捕获率均

表 1 洲滩小型兽类的捕获数量和捕获率

Table 1 The number and catch rate of small mammals in the island

年份 Year	铗日 Clip days	捕获数 (ind) Number of catches	总捕获率 (%) Total capture rate	捕获率 Capture rates (%)						
				褐家鼠 <i>Rattus norvegicus</i>	黑线姬鼠 <i>Apodemus agrarius</i>	东方田鼠 <i>Microtus fortis</i>	巢鼠 <i>Micromys minutus</i>	臭鼯 <i>Sorex murinus</i>	社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	黄毛鼠 <i>R. losea</i>
2010	1 800	146 + 4	8.33	0.67 (12)	1.78 (32)	5.50 (99)	0.00	0.17 (3)	0.00	0.00
2011	5 610	311 + 9	5.70	0.20(11)	3.40(191)	1.82(102)	0.04(2)	0.09(5)	0.00	0.00
2012	3 118	410 + 19	13.76	0.67(21)	3.88(121)	8.43(263)	0.03(1)	0.13(4)	0.00	0.00
2013	3 420	70	2.05	0.06 (2)	1.84(63)	0.06(2)	0.00	0.09(3)	0.00	0.00
2014	3 331	314 + 2	9.49	0.21(7)	5.34(178)	3.48(116)	0.03(1)	0.36(12)	0.00	0.00
2015	4 593	110 + 3	2.46	0.28(13)	1.61(74)	0.46(21)	0.02(1)	0.02(1)	0.00	0.00
2016	4 236	257	6.07	0.17(7)	5.15(218)	0.38(16)	0.07(3)	0.26(11)	0.05(2)	0.00
2017	3 689	138	3.74	0.08(3)	3.47(128)	0.00	0.03(1)	0.16(6)	0.00	0.00
2018	4 319	373 + 3	8.71	0.3(12)	7.87(340)	0.09(4)	0.02(1)	0.3(12)	0.07(3)	0.02(1)
合计 Total	34 116	2 129 + 40	6.36	0.26(88)	3.94(1345)	1.83(623)	0.03(10)	0.17(57)	0.01(5)	0.002(1)

捕获数: 加号后的数字为不能鉴别种类的捕获数; 捕获率: 括号内的数值为各种类的捕获数 (ind)。

Number of catch: The number after the plus sign is the number of catches that cannot identify the species; Capture rate: The values in parentheses are the number (ind) of captures for the various classes.

高于黑线姬鼠的捕获率, 其余年份, 黑线姬鼠的捕获率均高于东方田鼠, 说明黑线姬鼠正在大量进入湖滩, 同时逐渐成为优势种。

从洞庭湖区小型兽类组成来看(表 2), 黑线姬鼠、东方田鼠为优势种, 其在群落中的比例分别为 63.18%、29.26%。但是, 在三峡大坝完成的 2010 年, 东方田鼠为第一优势种, 在群落中的比例为 67.81%, 而黑线姬鼠仅为 21.92%, 以后年份, 黑线姬鼠所占比例逐年增加。到 2018 年, 黑线姬鼠已成为洞庭湖湖滩的绝对优势种, 在群落中所占的比例高达 91.15%。

### 3.2 洞庭湖区洲滩东方田鼠和黑线姬鼠种群数量变化

在 2010 至 2018 年间, 东方田鼠年间捕获率差异显著( $\chi^2 = 1\,224.301$ ,  $df = 8$ ,  $P < 0.001$ ), 黑线姬鼠年间捕获率差异也显著( $\chi^2 = 344.128$ ,  $df = 8$ ,  $P < 0.001$ )。这种显著差异, 可能与洞庭湖区特殊的水位变化及人类活动的干扰有关。洞庭湖区在三峡大坝建成以后, 每年 6 至 9 月份进入丰水期, 大部分裸露的洲滩被淹没, 导致湖区小型兽类不得不迁徙。但由于不同年间, 涨水天数以及涨水次数不一, 如 2017 年 10 月, 三峡泄洪导致洞庭湖湖区再次

淹水, 导致湖区小型兽类的捕获率产生较大的波动。

### 3.3 洞庭湖区洲滩不同生境小型兽类的捕获情况

不同生境类型区的小型兽类捕获数据列于表 3, 不同植被生境的捕获率差异明显( $\chi^2 = 534.57$ ,  $df = 4$ ,  $P < 0.001$ )。麻塘的捕获率极显著低于其他调查点(麻塘 vs. 采桑湖:  $\chi^2 = 302.594$ ,  $P < 0.001$ ; 麻塘 vs. 北洲子:  $\chi^2 = 447.745$ ,  $P < 0.001$ ; 麻塘 vs. 南嘴:  $\chi^2 = 55.638$ ,  $P < 0.001$ ; 麻塘 vs. 南大:  $\chi^2 = 284.406$ ,  $P < 0.001$ ); 采桑湖的捕获率与北洲子差异不显著( $\chi^2 = 1.220$ ,  $P > 0.05$ ), 与南嘴差异极显著( $\chi^2 = 88.845$ ,  $P < 0.001$ ), 与南大差异显著( $\chi^2 = 4.994$ ,  $P < 0.05$ ); 北洲子的捕获率与南嘴( $\chi^2 = 157.120$ ,  $P < 0.001$ )、南大( $\chi^2 = 20.275$ ,  $P < 0.001$ )调查点差异极显著; 南嘴的捕获率与南大调查点差异极显著( $\chi^2 = 73.028$ ,  $P < 0.001$ )。

从种类组成(表 4)来看, 苔草地仍以东方田鼠为第一优势种类(麻塘调查点), 如麻塘调查点东方田鼠比例为 61.21%; 采桑湖的调查点也是苔草地, 可能是受附近南荻的影响, 东

表 2 洲滩小型兽类的种类组成

Table 2 Species composition of small mammals of the lake beach

年份 Year	种类组成 Specific composition (%)						
	褐家鼠 <i>Rattus norvegicus</i>	黑线姬鼠 <i>Apodemus agrarius</i>	东方田鼠 <i>Microtus fortis</i>	巢鼠 <i>Micromys minutus</i>	臭鼯 <i>Sorex murinus</i>	社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	黄毛鼠 <i>R. losea</i>
2010	8.22	21.92	67.81	0.00	2.05	0.00	0.00
2011	3.54	61.41	32.80	0.64	1.61	0.00	0.00
2012	5.12	29.51	64.15	0.24	0.98	0.00	0.00
2013	2.86	90.00	2.86	0.00	4.29	0.00	0.00
2014	2.23	56.69	36.94	0.32	3.82	0.00	0.00
2015	11.82	67.27	19.09	0.91	0.91	0.00	0.00
2016	2.72	84.82	6.23	1.17	4.28	0.78	0.00
2017	1.99	95.68	0.00	0.33	1.99	0.00	0.00
2018	3.22	91.15	1.07	0.27	3.22	0.80	0.27
合计 Total	4.13	63.18	29.26	0.47	2.67	0.23	0.05

表 3 不同生境小型兽类捕获数量和捕获率

Table 3 The number and rate of capture of small mammals in different habitats

	麻塘 Matang	采桑湖 Caisanghu	北洲子 Beizhouzi	南嘴 Nanzui	南大 Nanda
洲滩主要植被 Main vegetation of bank	苔草 <i>Carex</i> sp.	苔草 + 南荻 <i>Carex</i> sp. + <i>Miscanthus</i> sp.	南荻 <i>Miscanthus</i> sp.	美洲黑杨 <i>Populus deltooides</i>	苔草 + 南荻 + 美洲黑杨 <i>Carex</i> sp. + <i>Miscanthus</i> sp. + <i>P. deltooides</i>
铗日数 Clip days	8 132	3 131	8 510	5 568	6 913
捕获数 Number (ind)	116	332	782	340	489
捕获率 Capture rate (%)					
褐家鼠 <i>Rattus norvegicus</i>	0.00	0.16(5)	0.33(28)	0.05(3)	0.71(49)
黑线姬鼠 <i>Apodemus agrarius</i>	0.44(36)	7.12(223)	6.05(515)	5.73(319)	3.21(222)
东方田鼠 <i>Microtus fortis</i>	0.87(71)	3.13(98)	2.50(213)	0.04(2)	2.98(206)
社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	0.02(2)	0.00	0.00	0.05(3)	0.00
巢鼠 <i>Micromys minutus</i>	0.00	0.10(3)	0.05(4)	0.09(5)	0.03(2)
臭鼩 <i>Sorex murinus</i>	0.07(6)	0.10(3)	0.29(25)	0.14 (8)	0.19(13)
黄毛鼠 <i>R. losea</i>	0.01(1)	0.00	0.00	0.00	0.00
总计 Total	1.44	10.67	9.29	6.18	7.43

捕获数：仅为可鉴别种类的捕获数；捕获率：括号内的数值为各种类的捕获数（ind）。

Number (ind): Only the number of catches of identifiable species; Capture rate: The values in parentheses are the number (ind) of captures for the various classes.

表 4 不同生境小型兽类的种类组成 (%)

Table 4 Species composition of small mammals in different habitats

	麻塘 Matang	采桑湖 Caisanghu	北洲子 Beizhouzi	南嘴 Nanzui	南大 Nanda
褐家鼠 <i>Rattus norvegicus</i>	0.00	1.51	3.58	0.88	10.02
黑线姬鼠 <i>Apodemus agrarius</i>	31.03	67.17	65.86	93.82	45.40
东方田鼠 <i>Microtus fortis</i>	61.21	29.52	27.24	0.59	42.13
社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	1.72	0.00	0.00	0.88	0.00
巢鼠 <i>Micromys minutus</i>	0.00	0.90	0.51	1.47	0.41
臭鼩 <i>Sorex murinus</i>	5.17	0.90	3.20	2.35	2.66
黄毛鼠 <i>R. losea</i>	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00

方田鼠的比例有所下降，黑线姬鼠的比例已达 67.17%。而种植有杨树和南荻洲滩的优势种类已由黑线姬鼠替代。特别是大面积种植杨树的南嘴调查点，黑线姬鼠占种类组成的比例已达 93.82%，为绝对优势种群。以南荻为主的北洲子调查点黑线姬鼠比例也已达到 65.86%。在苔草、南荻、杨树共存的南大调查点，黑线姬鼠和东方田鼠比例相近，其最突出的特点是褐家鼠在这种生境比例较高，已达 10.02%。总体来看，三峡水库正常运行后，洞庭湖洲滩的小型

兽类群落结构一直维持较丰富的状况。也就是说，毗邻生境的一些种类在退水后，有向洲滩生境迁移的趋势。特别是黑线姬鼠和褐家鼠的种群数量还比较大。因此洞庭湖洲滩的小型兽类群落应该会一直维持这种复杂结构趋势。

### 3.4 不同生境小型兽类群落结构年度变化

将 5 种生境的小型兽类群落结构情况按年份统计于表 5。

麻塘，不同年份的小型兽类群落结构不同 ( $\chi^2=47.522$ ,  $P < 0.001$ )，不同年间捕获率差

表 5 五种生境小型兽类群落结构年度变化

Table 5 Annual changes of small mammals community structure in five habitats

调查地点 Site	年份 Year	铗日 Clips days	捕获率(%) Capture rate	种类组成 Specific composition (%)						
				褐家鼠 <i>Rattus norvegicus</i>	黑线姬鼠 <i>Apodemus agrarius</i>	东方田鼠 <i>Microtus fortis</i>	巢鼠 <i>Micromys minutus</i>	臭鼯 <i>Sorex murinus</i>	社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	黄毛鼠 <i>R. losea</i>
麻塘 Matang	2010	763	0.00							
	2011	1 642	0.24(4)	0.00	75.00(3)	0.00	0.00	25(1)	0.00	0.00
	2012	741	8.37(62)	0.00	11.29(7)	87.10(54)	0.00	1.61(1)	0.00	0.00
	2013	798	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2014	793	1.00(8)	0.00	12.50(1)	87.5(7)	0.00	0.00	0.00	0.00
	2015	930	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2016	1 028	3.31(34)	0.00	58.82(20)	26.47(9)	0.00	8.82(3)	5.88(2)	0.00
	2017	582	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2018	855	0.93(8)	0.00	62.50(5)	12.50(1)	0.00	12.50(1)	0.00	12.50(1)
采桑湖 Caisanghu	2014	226	48.67(110)	1.82(2)	19.09(21)	76.36(84)	0.91(1)	1.82(2)	0.00	0.00
	2015	912	2.85(26)	0.00	57.69(15)	42.31(11)	0.00	0.00	0.00	0.00
	2016	887	3.72(33)	0.00	96.97(32)	0.00	3.03(1)	0.00	0.00	0.00
	2017	575	9.74(56)	0.00	100.00(56)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2018	531	20.15(107)	2.80(3)	92.52(99)	2.80(3)	0.93(1)	0.93(1)	0.00	0.00
北洲子 Beizhouzi	2010	865	13.29(115)	6.09(7)	26.09(30)	66.09(76)	0.00	1.74(2)	0.00	0.00
	2011	1 774	6.31(112)	4.46(5)	85.71(96)	8.93(10)	0.00	0.89(1)	0.00	0.00
	2012	744	18.82(140)	2.86(4)	27.86(39)	67.14(94)	0.71(1)	1.43(2)	0.00	0.00
	2013	976	6.56(64)	1.56(1)	92.19(59)	3.13(2)	0.00	3.13(2)	0.00	0.00
	2014	800	13.50(108)	2.78(3)	68.52(74)	23.15(25)	0.00	5.56(6)	0.00	0.00
	2015	930	2.47(23)	4.35(1)	69.57(16)	21.74(5)	4.35(1)	0.00	0.00	0.00
	2016	908	14.76(134)	8.82(3)	92.54(124)	0.75(1)	0.75(1)	3.73(5)	0.00	0.00
	2017	932	4.18(39)	0.00	89.74(35)	0.00	2.56(1)	7.69(3)	0.00	0.00
	2018	581	8.09(47)	8.51(4)	89.36(42)	0.00	0.00	2.13(1)	0.00	0.00
南嘴 Nanzui	2011	256	22.66(58)	0.00	100.00(58)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2012	750	4.67(35)	0.00	91.43(32)	5.71(2)	0.00	2.86(1)	0.00	0.00
	2013	809	0.37(3)	0.00	100.00(3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2014	744	3.09(23)	0.00	91.30(21)	0.00	0.00	8.69(2)	0.00	0.00
	2015	911	1.10(10)	0.00	100.00(10)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2016	553	2.53(14)	0.00	85.71(12)	0.00	0.00	14.29(2)	0.00	0.00
	2017	961	3.43(33)	0.00	96.97(32)	0.00	0.00	3.03(1)	0.00	0.00
	2018	584	28.08(164)	1.83(3)	92.07(151)	0.00	0.00	4.27(7)	1.83(3)	0.00
	南大 Nanda	2010	172	18.02(31)	16.13(5)	6.45(2)	74.19(23)	0.00	3.23(1)	0.00
2011		1 469	8.10(119)	5.04(6)	15.97(19)	75.63(90)	0.84(1)	2.52(3)	0.00	0.00
2012		737	16.42(121)	9.09(11)	23.14(28)	67.77(82)	0.00	0.00	0.00	0.00
2013		837	0.36(3)	33.33(1)	33.33(1)	0.00	0.00	33.33(1)	0.00	0.00
2014		768	8.46(65)	3.08(2)	93.85(61)	0.00	0.00	3.08(2)	0.00	0.00
2015		910	5.60(51)	23.53(12)	64.71(33)	9.80(5)	0.00	1.96(1)	0.00	0.00
2016		860	4.88(42)	9.52(4)	71.43(30)	14.29(6)	2.38(1)	2.38(1)	0.00	0.00
2017	639	1.56(10)	0.30(3)	0.50(5)	0.00	0.00	0.20(2)	0.00	0.00	

采桑湖区域的调查自 2014 年开始；南嘴区域的调查自 2011 年开始。捕获率：括号内的数值为各种类的捕获数 (ind)。

The survey of the Caisanghu area began in 2014; The survey of the Mupinghu area began in 2011. Capture rate: The values in parentheses are the number (ind) of captures for the various classes.

异极显著 ( $\chi^2 = 328.273$ ,  $df = 7$ ,  $P < 0.001$ )。黑线姬鼠和东方田鼠捕获率较高, 黑线姬鼠捕获率随年份变化呈上升趋势, 东方田鼠则呈下降趋势。采桑湖和北洲子, 与麻塘相比, 种植有部分芦苇与南荻, 在这两个生境中, 不同年份小型兽类群落结构不同 ( $\chi^2_{\text{采桑湖}} = 131.454$ ,  $P < 0.001$ ;  $\chi^2_{\text{北洲子}} = 323.951$ ,  $P < 0.001$ )。

南嘴, 小型兽类种类单一, 小型兽类群落结构没有年份变化 ( $\chi^2 = 17.668$ ,  $P > 0.05$ ), 在不同年份均捕到黑线姬鼠, 而且为绝对优势种, 除 2012 年捕获 2 只东方田鼠, 2018 年捕获 3 只褐家鼠和 3 只社鼠以及在 2012、2014、2016、2017、2018 年间偶尔捕获 13 只臭鼬外, 其他年份捕获的都是黑线姬鼠。

南大, 小型兽类种类最多, 小型兽类群落结构有明显的年度变化 ( $\chi^2 = 252.108$ ,  $P <$

0.001), 只有黑线姬鼠和褐家鼠在不同年间均有捕获。褐家鼠在小型兽类群落中所占的比例较其他调查点高, 说明该鼠种群在该生境内还维持一定数量。

### 3.5 洞庭湖区洲滩不同生境小型兽类的多样性指数

根据不同生境内所捕获的小型兽类的种类和个体数量, 分别计算了群落的多样性指数、均匀度指数和优势集中性指数 (表 6)。可以看出南大调查点的多样性指数和均匀度指数均最大, 其次为麻塘调查点、北洲子调查点和采桑湖调查点, 南嘴调查点多样性指数最低, 但其优势集中性指数最高。五种生境的小型兽类相似性指数、多样性指数的  $t$  检验结果见表 7。由于麻塘、采桑湖与北洲子调查点生境植被类似, 均有苔草, 因此麻塘与采桑湖、北洲子之

表 6 不同生境下小型兽类群落的多样性特征

Table 6 Diversity characteristics of small mammals communities in different habitats

生境 Habitat	物种数 Spices	物种多样性指数 Species diversity index ( $H'$ )	均匀度 Evenness ( $J'$ )	优势集中性指数 Dominance concentration index ( $C$ )
麻塘 (苔草) Matang ( <i>Carex</i> sp.)	5	0.927 5	0.576 3	0.474 0
采桑湖 (苔草 + 南荻) Caisanghu ( <i>Carex</i> sp. + <i>Miscanthus</i> sp.)	5	0.775 6	0.481 9	0.538 7
北洲子 (南荻) Beizhouzi ( <i>Miscanthus</i> sp.)	5	0.885 6	0.550 2	0.510 3
南嘴 (美洲黑杨) Nanzui ( <i>Populus deltoides</i> )	6	0.323 6	0.180 6	0.881 2
南大 (苔草 + 南荻 + 美洲黑杨) Nanda ( <i>Carex</i> sp. + <i>Miscanthus</i> sp. + <i>P. deltoides</i> )	5	1.072 2	0.666 2	0.394 4

表 7 五种生境小型兽类的相似性指数及香浓-威纳多样性指数两两显著性比较 ( $t$  检验)

Table 7 Similarity index and pair-pair-significance comparison of the Shannon-Weiner diversity index of small mammals in five habitats ( $t$ -test)

生境 Habitat	麻塘 Matang	采桑湖 Caisanghu	北洲子 Beizhiuzi	南嘴 Nanzui	南大 Nanda
麻塘 Matang		0.614 6	0.612 8	0.348 6	0.755 2
采桑湖 Caisanghu	1.75 (196)		0.958 2	0.704 6	0.774 3
北洲子 Beizhiuzi	0.52 (155)	2.09* (670)		0.700 0	0.787 9
南嘴 Nanzui	6.44** (250)	6.43** (636)	8.89** (550)		0.493 3
南大 Nanda	1.78 (156)	5.62** (640)	4.34** (1196)	11.81** (542)	

右上为相似性指数, 左下为多样性比较数据。括号内为自由度。\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ .

The top right is the similarity index, the bottom left is the diversity comparison data. The parentheses are number of degrees of freedom. \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ .

间的多样性指数差异均不显著；采桑湖和北洲子的多样性指数差异也仅达到显著水平；而南嘴与南大调查点，植被结构与其他调查点存在较大的差异，因此其多样性指数差异均达到极其显著水平。结果表明，生境越复杂，物种多样性越高。单一生境下，人类活动干扰程度越大，多样性越低。

#### 4 讨论

按照小型兽类种群密度分析，麻塘调查点主要植被以苔草为主，植被结构比较单一，人为干扰较少，该点小型兽类密度最低。采桑湖，主要植被以苔草为主，种植有部分芦苇和南荻，芦苇和南荻于每年冬季进行收割，因此，冬季有一定的人类活动干扰，其他季节人为干扰较少，该点小型兽类密度较纯苔草生境的麻塘有所提高。北洲子，种植有大面积的芦苇和南荻，仅有少量苔草零星分布，与采桑湖一样，冬季有一定的人类活动干扰，其他季节人为干扰较少，小型兽类密度最高。南嘴，大部分地区种植有杨树，树下为杂草，小型兽类密度较高。南大调查点生境比较复杂，南荻、杨树、苔草相互镶嵌，杨树是通过人工移植进入该生境的，并通过繁殖逐渐成为该地区的优势物种，人为干扰较大，小型兽类密度也较高。东方田鼠在不同生境中捕获率差异极其显著 ( $\chi^2 = 240.819$ ,  $df = 4$ ,  $P < 0.001$ )，黑线姬鼠在不同生境中捕获率差异也极其显著 ( $\chi^2 = 382.797$ ,  $df = 4$ ,  $P < 0.001$ )，这与不同生境中主要植被不同有关。总体来看，纯苔草生境的密度相对较低。

从小型兽类种类组成看，在采桑湖与北洲子，黑线姬鼠在群落中的占比明显较麻塘高，这可能与这两地的生境类型及人为干扰有关。采桑湖地区湖滩每年冬季都有工人进入洲滩收割芦苇和南荻。在北洲子，当地渔民在洲滩上开挖鱼塘，待洞庭湖退水后存鱼（截止本文完成前，所有鱼塘均已填回）。同时这两个地区均有大量农田被改为龙虾田的现象，迫使黑线姬鼠进入湖滩觅食。就目前的调查结果而言，黑

线姬鼠在这两个生境中已逐渐成为优势种。但是否会对东方田鼠造成竞争，导致东方田鼠种群数量下降，还需进一步观察；南嘴的小型兽类种类组成进一步说明了南嘴东方田鼠的退出，这使得黑线姬鼠在群落中的优势地位更加突出。南嘴由于地势较高，一般不会每年被洪水淹没，洪水对其种群的干扰较少；在南大，由于当地居民大多以打渔为生，褐家鼠容易跟随渔船进入湖滩。就目前的情况来看，褐家鼠应该是 3 种家鼠中能在湖滩成功保留的唯一种群。但随着环境的演替，以及与其他种类的竞争，褐家鼠是否会持久地栖息于湖滩区域，有待进一步观察。

从生态学的观点考察，没有绝对有害的生物，每种生物都有其自然界存在的必然性。历史资料显示，在洞庭湖区洲滩生境中的小型兽类，过去主要是东方田鼠（李波等 2007，冯雷等 2017）。而根据本调查结果，三峡水库控制下泄流量后，黑线姬鼠已然成为洞庭湖洲滩生境的第一优势鼠种，褐家鼠也慢慢在入侵，它们也会因栖息地的转移而出现益害转化。东方田鼠作为生态系统中的初级消费者，冬春季栖息在洲滩苔草沼泽中，是害鼠天敌鹰、鸢、蛇等的食物资源，有利天敌的繁衍，是食物链中的重要一环；只有在汛期被迫大量迁移进入农田，才造成严重危害。

历史上，洞庭湖洲滩以东方田鼠为主要暴发危害的种群（张美文等 2007b），未见黑线姬鼠、褐家鼠在洲滩生境大暴发的记载，应该与以前洞庭湖汛期洲滩淹没时间长，淹没水位高，每年汛期洲滩基本被完全淹没有关，丰水期洲滩或河滩持续长时间的严重淹涝，对小型哺乳动物群落的大部分种类会造成更多的不利后果。洪水的破坏性后果取决于水位、洪水的持续时间和水位上升的速度（Andersen et al. 2000, Wijnhoven et al. 2005, McCartney et al. 2009, Balčiauskas et al. 2012）。洞庭湖洲滩在这种状况下形成了只适合东方田鼠栖息的状况。

三峡大坝修建后，黑线姬鼠、褐家鼠在洲滩大量捕获应该不是偶然现象。从生境变化的角度来看，洞庭湖主要植被类型包括水生植被、草甸、沼泽植被和常绿阔叶林植被，面积较大的湿生群落类型有藴草、野胡萝卜 (*Daucus carota*)、辣蓼 (*Polygonum hydropiper*)、菱蒿、苔草、南荻、芦苇、旱柳 (*Salix matsudana*)、美洲黑杨等，其分布规律为由岸边向湖心逐渐倾斜，植物随湖水深度形成不同的植物群落。植被从空间格局上呈现明显的带状分布特点，由水到陆的总趋势为，沉水植物群落至藴草群落至苔草群落至辣蓼群落及菱蒿加苔草群落至芦苇群落至美洲黑杨或旱柳群落 (谢永宏等 2008)。

史璇等 (2012) 研究得出，2003 年三峡工程蓄水运行后，洞庭湖水位的主要变化趋势为，水位年内变化趋缓，枯水期水位明显提升，丰水期水位有所下降，9 和 10 月水位消落速度加快等，径流年内分配区域均匀化。另外三峡工程的运行改变了原来自然状态下的水沙条件，对坝下游河床的冲刷加重，降低了下游河道的水位，洞庭湖的面积、水量及平均水深都相应地发生了改变，再加上不同高程区植物群落对水位变化的敏感程度不同，将使优势品种芦苇和湖草 (苔草、藴草、看麦娘等) 群落生物量不断增加，抢占沉水植物的生存空间 (龙勇 2013)。而在较高高程的芦苇由于得不到充足的水分，生物量相对减少，逐渐被防护林代替 (黄维等 2016)，例如南嘴地势较高，目前主要植被正是人工防护林美洲黑杨。这种植被变化，使苔草地面积不断减少，而芦苇、南荻和杨树群落不断扩大。吴林等 (1998) 研究发现，东方田鼠的主要食物，在苔草地是苔草和水田碎米荠，在芦苇、南荻场是水田碎米荠、苦草 (*Vallisneria natans*)、南荻和镜子苔 (*Carex phacota*)，且植物叶片是主要利用对象。根据本调查结果，不同生境中东方田鼠的捕获率由大到小依次是，苔草加南荻、苔草加南荻加美洲黑杨、南荻、苔草、美洲黑杨。三峡工程带

来的植被变化，使东方田鼠的食物来源不断减少，而黑线姬鼠、褐家鼠则趁势入侵洲滩，并取得优势。根据调查结果显示，杨树林中黑线姬鼠已经成为绝对优势种。

尽管湿地演变是一个相对缓慢的过程，对外界条件变化的响应也有一个长期的过程。根据本调查结果，5 个生境随着年份变化，东方田鼠的捕获率一直呈现下降趋势，而黑线姬鼠的捕获率则呈上升趋势，进一步说明三峡工程对洞庭湖区域的动植物正造成潜移默化的影响。目前洞庭湖洲滩上，黑线姬鼠已经成为绝对优势种，如果任由黑线姬鼠种群的发展，它是否也会形成类似于东方田鼠种群大暴发的危害？而黑线姬鼠对可致死其他动物和人类的许多疾病病原体具有惊人的抵抗性，潜在传播疾病的能力很强，已知传播的疾病多达 17 种之多，且为肾综合征出血热和钩端螺旋体病的首要宿主 (汪诚信 1996, 郑智民等 2012)，因此需加以密切关注。

虽然目前已基本了解东方田鼠种群动态和成灾原因，在农作区的黑线姬鼠和褐家鼠种群动态也已有较深入的研究，能根据监测数据和种群发展规律对它们种群数量趋势进行预测，但它们共存于洲滩生境时，对影响种群数量的深层次原因缺乏充分的了解。特别是与原来栖息于农田的黑线姬鼠、褐家鼠等种间竞争机理等。因此，有必要进行进一步的深入研究，掌握它们的种群发展动向，这将有利于对它们种群数量的控制。

## 参 考 文 献

- Andersen D C, Wilson K R, Miller M S, et al. 2000. Movement patterns of riparian small mammals during predictable floodplain inundation. *Journal of Mammalogy*, 81(4): 1087–1099.
- Hutcheson K. 1970. A test for comparing diversities based on the SHANNON formula. *Journal of Theoretical Biology*, 29(1): 151–154.
- Balčiauskas L, Balčiauskienė L, Janonytė A. 2012. The influence of spring floods on small mammal communities in the Nemunas

- River Delta, Lithuania. *Biologia*, 67(6): 1220–1229.
- McCartney M, Gichuki F N, Nguyenkhoa S, et al. 2009. Living with dams: managing the environmental impacts. *Water Policy*, 11(Suppl 1): 121.
- Pielou E C. 1985. *Mathematical Ecology*. New York: Wiley-Interscience.
- Shannon C E, Weaver W. 1950. The mathematical theory of communication. *Bell Labs Technical Journal*, 3(9): 31–32.
- Whittaker R H. 1969. Vegetation of the Siskiyou Mountains Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30(3): 279–338.
- Whittaker R H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2/3): 213–251.
- Wijnhoven S, Velde G V D, Leuven R S E W, et al. 2005. Flooding ecology of voles, mice and shrews: the importance of geomorphological and vegetational heterogeneity in river floodplains. *Acta Theriologica*, 50(4): 453–472.
- Zhang M W, Wang Y, Li B, et al. 2014. Small mammal community succession on the beach of Dongting Lake, China after the Three Gorges Project. *Integrative Zoology*, 9(3): 294–308.
- 陈安国, 郭聪, 王勇, 等. 1995. 洞庭湖区东方田鼠种群特性和成灾原因研究 // 张洁. 中国兽类生物学研究. 北京: 中国林业出版社, 31–38.
- 冯雷, 赵运林, 张美文, 等. 2017. 洞庭湖洲滩及滨湖区鼠类分布格局及其多样性. *生态学报*, 37(17): 5771–5779.
- 郭聪, 陈安国, 王勇, 等. 1994. 华中地区小家鼠生物学特性观察. *兽类学报*, 14(1): 51–56.
- 郭聪, 张美文, 王勇, 等. 1999. 洞庭湖区夏季温光条件及被迫迁移对东方田鼠和繁殖的影响. *兽类学报*, 19(4): 298–307.
- 黄维, 王为东. 2016. 三峡工程运行后对洞庭湖湿地的影响. *生态学报*, 36(20): 6345–6352.
- 李波, 王勇, 张美文, 等. 2007. 洞庭湖区东方田鼠种群数量预警. *植物保护*, 33(2): 134–136.
- 龙勇. 2013. 东洞庭湖湿地植被及其生物量研究与三峡工程影响分析. 长沙: 湖南大学硕士学位论文.
- 陆胤昊. 2009. 洞庭湖的演变及其驱动因子研究. 武汉: 华中师范大学硕士学位论文.
- 史璇, 肖伟华, 王勇, 等. 2012. 近 50 年洞庭湖水位总体变化特征及成因分析. *南水北调与水利科技*, 10(5): 18–22.
- 汪诚信. 1996. 害鼠防治与卫生防疫 // 王祖望, 张知彬. 鼠害治理的理论与实践. 北京: 科学出版社, 38–53.
- 王克林, 章春华. 1998. 洞庭湖区洪涝灾害形成机理与生态减灾和流域管理对策. *应用生态学报*, 9(6): 561–568.
- 王勇, 陈安国, 李波, 等. 1994. 洞庭平原黑线姬鼠繁殖特性研究. *兽类学报*, 14(2): 138–146.
- 王勇, 郭聪, 张美文, 等. 2004. 洞庭湖区东方田鼠种群动态及其危害预警. *应用生态学报*, 15(2): 308–312.
- 王勇, 张美文, 李波, 等. 2003. 洞庭湖地区不同生态类型区鼠类群落组成及其演替趋势. *农村生态环境*, 19(1): 13–17.
- 吴林, 张美文, 李波. 1998. 洞庭湖区东方田鼠的食物组成调查. *兽类学报*, 18(4): 282–291.
- 夏武平. 1996. 害鼠与生态平衡 // 王祖望, 张知彬. 鼠害治理的理论与实践. 北京: 科学出版社, 2–18.
- 谢永宏, 陈心胜. 2008. 三峡工程对洞庭湖湿地植被演替的影响. *农业现代化研究*, 29(6): 684–687.
- 谢永宏, 张琛, 蒋勇. 2014. 洞庭湖湿地生态环境演变. 长沙: 湖南科学技术出版社.
- 张光贵. 1997. 洞庭湖演变对农业生态环境的影响. *长江流域资源与环境*, 6(4): 76–80.
- 张美文. 2006. 洞庭湖区退田还湖工程对小型兽类群落的影响. 长沙: 湖南农业大学博士学位论文.
- 张美文, 陈安国, 王勇, 等. 2000. 长江流域黄胸鼠生物学特性观察. *兽类学报*, 20(3): 200–211.
- 张美文, 黄璜, 王勇, 等. 2006. 洞庭湖区社鼠的繁殖生态. *生态学报*, 26(3): 884–894.
- 张美文, 黄璜, 王勇, 等. 2007a. 洞庭湖区社鼠的外形特征及栖息地选择. *湖南农业大学学报*, 33(1): 53–56.
- 张美文, 李波, 王勇. 2007b. 洞庭湖区东方田鼠 2007 年暴发成灾的原因剖析. *农业现代化研究*, 28(5): 601–605.
- 张美文, 王凯荣, 王勇, 等. 2003. 洞庭湖区鼠类群落的物种多样性分析. *生态学报*, 23(11): 2260–2270.
- 张晓阳, 杜耘. 1995. 洞庭湖演变趋势分析. *长江流域资源与环境*, 4(1): 64–69.
- 郑智民, 姜志宽, 陈安国. 2012. 啮齿动物学. 2 版. 上海: 上海交通大学出版社, 619–713.