

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

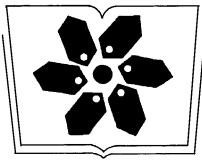
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **2012**

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 32 卷 第 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征.....	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态.....	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征.....	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布.....	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响.....	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性.....	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态.....	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态.....	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异.....	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响.....	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响.....	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究.....	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究.....	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究.....	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性.....	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化.....	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用.....	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评.....	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态.....	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响.....	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	

封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

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

DOI: 10.5846/stxb201203220391

童春富. 长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征. 生态学报, 2012, 32(20): 6501-6510.

Tong C F. Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6501-6510.

长江河口潮间带盐沼植被分布区及 邻近光滩鱼类组成特征

童春富*

(华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 研究鱼类群落在不同生境中的差异或者变化, 是评价与预测生境丧失、环境退化等对湿地生物多样性与生态系统功能影响的重要基础。2006 年 4—11 月, 在长江河口崇明东滩盐沼植被分布区 (简称草滩) 和邻近的光滩区域分别设置采样站位, 每月大潮期采用定制插网对鱼类群落进行了取样调查。分析研究了长江河口潮间带盐沼植被分布区和邻近光滩区域的鱼类组成及其月际变化, 并对影响鱼类分布的主要因子进行了探讨。调查期间共采集鱼类标本 1638 尾, 分属 9 目 14 科 22 种; 其中, 淡水鱼类 2 种, 定居性河口鱼类 12 种, 海洋鱼类 5 种, 洄游鱼类 3 种。植被分布区和光滩区域鱼类组成及优势种特征存在明显差异。调查期间, 植被分布区记录鱼类 13 种, 主要优势种为斑尾刺虾虎鱼 (*Acanthogobius ommaturus*)、鲻 (*Mugil cephalus*) 和梭鲈 (*Liza carinatus*) ($IRI > 20$), 其他种类基本不具有优势度特征 ($IRI < 0.05$); 光滩区域记录鱼类 20 种, 主要优势种鲻 ($IRI > 20$), 其他包括斑尾刺虾虎鱼、狼牙鰻虎鱼 (*Taenioides rubicundus*)、梭鲈和棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*) 也具有一定的优势特征 ($20 > IRI > 10$); 两个区域共有种为 11 种, 部分种类只出现在光滩或植被分布区, 但主要优势种均为定居性河口鱼类。与世界其他河口盐沼湿地鱼类研究结果不同的是, 光滩区域记录的鱼类物种数、个体数、生物量和整体物种多样性水平平均高于植被分布区; 光滩和植被分布区鱼类相应的量比关系存在明显的月际变化, 但两种生境鱼类组成间的关联性和差异性均不显著。通过比较两种生境共有的优势种体长发现, 长江河口盐沼植被分布区鱼类优势种的平均体长大于光滩区域, 而且植被分布区部分优势种体长的上、下限范围也大于光滩区域。长江河口盐沼植被分布区, 除了育幼场外, 还是许多鱼类成鱼的重要栖息地。影响河口潮间带盐沼湿地鱼类组成与分布的主要因素包括鱼类自身的生物学与生活史特征、饵料生物的组成与分布、植被出现与表形特征等生物因素和水温、盐度、淡水径流、潮汐特性等非生物因素, 其对长江河口潮间带盐沼湿地中鱼类群落的组成与分布的综合作用机理有待进一步研究。

关键词: 长江河口; 潮间带; 盐沼; 鱼类

Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary

TONG Chunfu*

State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Abstract: The knowledge about the difference or variation of the fish assemblages among the different habitats is an important basis for assessing and predicting the impacts of habitat loss or environment degradation on the wetland ecosystems. The salt marsh in the Yangtze Estuary is facing the threat of erosion and degradation due to the reduction of the annual sediment supply from the Yangtze River. However, the variation of fish assemblages among different habitats of intertidal salt marsh zone and its adjacent mudflat in the region are poorly understood. In 2006, 2 permanent sampling sites

基金项目: 国家自然科学基金 (50939003, 40506029, 41021064)

收稿日期: 2012-03-22; 修订日期: 2012-08-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cftong@sklec.ecnu.edu.cn

were established in *Scirpus mariqueter* salt marsh and its adjacent mudflat on the intertidal zone of Chongming-Dongtan that is one of the largest salt marshes in the Yangtze Estuary. Based on monthly trap net surveys of fishes during spring tides from April to November, the characteristics of the fish assemblages in the different habitats, including the salt marsh and mudflat, and the monthly variations were analyzed. A total of 1638 specimens of fishes were collected, belonging to 9 orders, 14 families and 22 species, which included 2 freshwater species, 12 resident estuarine species, 5 marine species and 3 migratory species. The characteristics of the fish assemblages, including the dominant species, were different in these two different habitats. 13 fish species were recorded in salt marsh, of which the dominant species were the *Acanthogobius ommaturus*, *Mugil cephalus* and *Liza carinatus* ($IRI > 20$), and the other species did not show any characteristics of the dominance ($IRI < 0.05$). 20 fish species were recorded in the area of mudflat, the dominant species was the *Mugil cephalus* ($IRI > 20$), while the other species, including the *Acanthogobius ommaturus*, *Taenioides rubicundus*, *Liza carinatus* and the *Collichthys lucidus* had some characteristics of the dominance ($20 > IRI > 10$). The major dominant species in the different habitats were all resident estuarine species. The results from the Yangtze Estuary were different to those from the other regions in the world. The number of species and individuals, biomass and the species diversity of the fish assemblage recorded in the area of the mudflat were all greater than those in the salt marsh. The quantitative characteristics of the fish assemblages, including the number of species and individuals as well as biomass, varied monthly and in different habitats, while the largest difference was the body length. The mean value and the extent of minimum and maximum values of the body length for some dominant species were greater in the salt marsh than in the mudflat. The salt marsh was not only the nursing area for the juvenile fishes, but also an important habitat for the adults. Various factors influence the composition and distribution of the fish assemblages, including the biotic factors such as its biological characteristics and life history, the composition and distribution of prey, presence and morphological characteristics of the vegetation, and also the environmental factors such as water temperature, salinity, fresh water inflow and tidal regime, etc. Further studies are need to investigate the mechanisms that all these factors operate together upon the fish assembles in the intertidal wetlands in the Yangtze Estuary.

Key Words: Yangtze Estuary; intertidal; salt marsh; fish

盐沼湿地广泛分布于中高纬度河口海岸潮间带地区,是许多鱼类的重要育幼场和庇护所^[1-3]。鱼类通常随潮水进入潮间带盐沼湿地区域,在不同区域停留时间从几分钟到几小时不等^[4-5];通过取食、排泄、扰动、洄游等行为,对区域生态系统的结构与功能产生重要影响,其自身也是盐沼湿地生态系统食物链中的重要环节^[6-10],由此也使它们成为当前河口海岸盐沼湿地研究关注的焦点之一。而研究鱼类群落在不同生境中的差异或者变化,是评价与预测生境丧失、环境退化等对湿地生物多样性与生态系统功能影响的重要基础^[3, 11]。在自然和人为因素导致盐沼湿地迅速丧失的背景下^[12],研究不同盐沼湿地生境鱼类群落的组成特征,可以为相应湿地的生态恢复、鱼类资源的保育提供科学依据。

长江河口是世界特大型淤泥质河口,有典型的盐沼湿地发育。目前,与盐沼湿地相关的鱼类研究主要集中在光滩^[13]、潮沟^[14-16],以及不同盐沼植被分布区^[17]鱼类的组成及多样性特征等方面。而近年来,由于流域人类活动的影响,特别是三峡水库的建设,导致长江入海泥沙量减少,使长江河口湿地面临侵蚀、退化的威胁^[18-20]。为了更好的分析研究这种湿地退化、生境改变带来的影响,特别是对鱼类的影响,迫切需要开展河口湿地潮间带植被分布区与光滩生境鱼类的对比研究。长江河口现有的潮间带植被分布区与光滩鱼类的对比研究仅见于低盐淡水区^[21],而在盐沼湿地分布区域则基本没有开展。因此,本文在长江河口潮间带盐沼湿地固定站位鱼类月际插网调查取样的基础上,分析了长江河口潮间带盐沼植被分布区与光滩区域鱼类组成特征及其月际变化,并对影响盐沼湿地鱼类组成与分布的主要因子进行了探讨,以期评价与分析盐沼湿地退化的影响、制定有效的应对措施提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

研究区域位于崇明东滩,如图 1 所示。该区域属于北亚热带季风性气候区,年均气温为 15.7℃,年均降水量为 1123.7 mm,植物生长季为 4 月至 11 月;区域潮汐为非正规半日潮,平均潮差为 2.5 m,大潮时可达 3.5 m;在最高的天文大潮期潮差可达 5.2 m;潮水平均盐度为 1—3^[22-23]。

长江 1951—2005 年年均输沙量为 $4.13 \times 10^8 \text{ t/a}$ ^[23],其中大约有一半以上的泥沙就堆积在河口地区,这为河口湿地的发育提供了丰富的物质基础。崇明东滩在过去的几十年中保持了较高的向海淤涨速度,但从不同时段的对比如来看,近十多年来,随着长江入海泥沙量的减少,崇明东滩的淤涨速度已明显减缓:1982—1990 年向东推进速度为 350 m/a,1996 年以来大约是 60 m/a^[23]。2005 年,崇明东滩 0 m 等深线以上面积约为 120 km²,是目前长江河口面积最大的潮滩湿地,低潮时从海堤到水线边缘宽达 10 余公里。其靠近大堤一侧高程较高的区域有典型的盐沼植被发育:本地自然植被优势种因高程而异,在中低潮位区为海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*),在高潮位区为芦苇 (*Phragmites australis*)。其中,先锋植物海三棱藨草是我国的特有种,主要分布在长江河口和杭州湾潮间带区域^[22,24-25]。人工引入种互花米草 (*Spartina alterniflora*) 最早于 1995 年在崇明东滩发现,2001 年因促淤保滩在崇明东滩北部区域进行了大面积种植,目前已经明显扩散^[23,26]。在本研究开展取样调研的 2006 年,崇明东滩堤外植被带最大宽度约为 3.0 km(大堤至植被带前缘),其中海三棱藨草带最大宽度约为 1.5 km;堤内 1998 年和 2001 年两次围垦形成的垦区内(图 1),取样调研时主要植被优势种为芦苇。

1.2 研究方法

为简便起见,本文将盐沼植被分布区简称为草滩(下同)。在草滩的海三棱藨草带和光滩区域各设一个采样站位,两者相距约 2 km,如图 1 所示。每站位布设 1 顶插网。插网网高约 100 cm,长约 200 m,网目尺寸 10 mm;每顶插网装有 3 个网袋,网袋间隔约 50 m,网袋长约 4 m,网目尺寸为 8 mm,网袋内设有漏斗部,防止鱼类回游逃逸;每顶网两端装有袖网长约 10 m,伸向大堤方向;主网墙布设方向基本与滩面落潮水流垂直。不同季节根据流向变化,主网墙布设方向做适当调整。

2006 年的 4—11 月,每月在大潮期放网取样,每次采集两个潮周期的渔获量,插网拦截时间约 24 h。所有样品带回实验室进行鉴定、计数、测量体长。用吸水纸吸去体表多余水后,测量其生物量(湿重,精确到 0.01 g)。6 月份因为光滩插网被水流冲坏,导致取样结果出现一定偏差,所以该月样品未列入分析范围。

1.3 数据处理

采用相对多度(Relative abundance, %N),相对生物量(Relative biomass, %B)、相对频度(Relative frequency of occurrence, %FO)^[5]和 Pinkas 相对重要性指数(Index of relative importance, IRI)^[27-28]反映群落组成特征,并用 IRI 量值作为物种优势度的表征。采用 Primer 5.2.8 计算 Margalef 物种丰富度指数(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J')^[29],分析鱼类群落的物种多样性。

$$\text{相对多度:} \quad \%N = \frac{n_i}{N} \times 100$$

$$\text{相对生物量:} \quad \%B = \frac{b_i}{B} \times 100$$

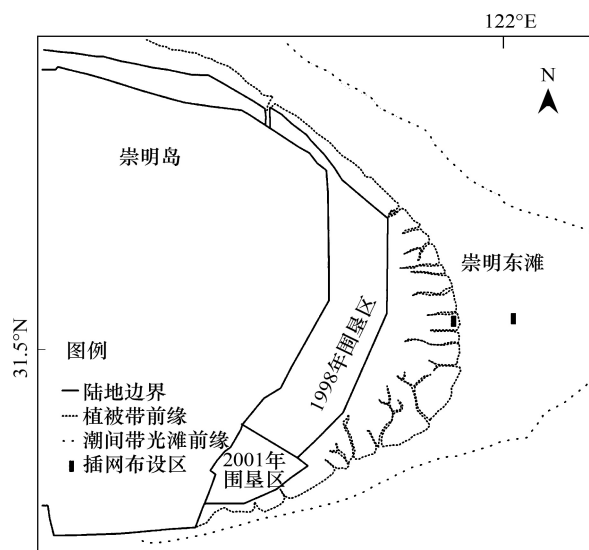


图 1 崇明东滩采样站位示意图

Fig. 1 Map of sampling sites in Chongming-Dongtan

$$\text{相对频度: } \%FO = \frac{f_i}{F} \times 100$$

$$\text{Pinkas 相对重要性指数: } IRI = (\%N + \%B) \times \frac{f_i}{F}$$

$$\text{Margalef 物种丰富度指数: } D = \frac{S - 1}{\ln N}$$

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数: } H' = - \sum P_i \ln P_i$$

$$\text{Pielou 均匀度指数: } J' = \frac{H'}{\ln S}$$

式中, n_i 为第 i 种的个体数; b_i 为第 i 种的生物量; f_i 为第 i 种的出现次数; N 为总个体数; B 为总生物量; F 为总调研次数; P_i 为第 i 种的个体数占总个体数的比例, $P_i = \frac{n_i}{N}$; S 为物种数。

利用统计软件 Statistica 7.0 进行方差和回归分析。采用单尾方差分析 (One-way ANOVA) 研究两种生境共有的优势种在不同生境中的个体体长的差异。采用成对数据 t 检验分析不同生境鱼类每月物种数、个体数和生物量的差异。采用多元回归 (Multiple Regression) 分析两种不同生境物种数、个体数和生物量的相关性及其显著性水平 (t 检验)。采用 Primer 5.2.8 进行等级聚类和非度量多维标度 (non-Metric Multidimensional Scaling, nMDS) 排序, 分析不同生境不同月份鱼类组成的相似性^[13,29-30]。相应物种的多度数据经过四次方根变换后, 计算 Bray-Curtis 相似系数, 进而构建相似矩阵; 在此基础上进行等级聚类和非度量多维尺度变换分析。用胁强系数 (stress) 来判断一个二维非度量多维标度分析结果的可信度: $0 < \text{stress} < 0.01$, 完全可信; $0.01 < \text{stress} < 0.05$, 可信的; $0.05 < \text{stress} < 0.1$, 基本可信; $0.1 < \text{stress} < 0.2$, 有一定参考价值; $0.2 < \text{stress} < 0.3$, 几乎是任意的, 不可信。

2 研究结果

2.1 不同生境鱼类组成与多样性

调查期间共采集鱼类标本 1638 尾, 分属 9 目 14 科 22 种, 如表 1 所示。其中, 淡水鱼类 2 种, 定居性河口鱼类 12 种, 海洋鱼类 5 种, 洄游鱼类 3 种。光滩和草滩种类组成及优势种特征存在明显差异。

表 1 潮间带盐沼不同生境鱼类组成特征

Table 1 Characteristics of the fish assemblages in the different habitats

种类 Species	光滩 Mudflat				草滩 Salt marsh zone			
	%N	%B	%FO	IRI	%N	%B	%FO	IRI
鲤形目 Cypriniformes								
1 长蛇鲂 <i>Saurogobio dumerili</i> ¹⁾	0.59	0.62	28.57	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
2 红鳍原鲃 <i>Cultrichthys erythropterus</i> ¹⁾	0.08	0.02	14.29	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
鲻形目 Mugiliformes								
3 鲻 <i>Mugil cephalus</i> ²⁾	36.43	48.79	85.71	73.04	22.86	23.00	85.71	39.31
4 梭鲈 <i>Liza carinatus</i> ²⁾	6.85	8.46	71.43	10.94	20.66	13.54	71.43	24.43
5 四指马鲈 <i>Eleutheronema tetradactylum</i> ²⁾	1.52	1.49	28.57	0.86	0.22	0.77	14.29	0.14
灯笼鱼目 Scopeliformes								
6 龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i> ³⁾	0.25	0.08	28.57	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
鲈形目 Perciformes								
7 狼牙鰻虾虎鱼 <i>Taenioides rubicundus</i> ²⁾	9.30	12.16	71.43	15.33	2.42	2.44	71.43	3.47
8 大弹涂鱼 <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> ²⁾	0.25	0.26	42.86	0.22	1.54	1.05	57.14	1.48
9 弹涂鱼 <i>Periophthalmus cantonensis</i> ²⁾	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.03	14.29	0.04
10 中国花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i> ²⁾	0.00	0.00	0.00	0.00	2.86	9.80	28.57	3.62
11 斑尾刺虾虎鱼 <i>Acanthogobius ommaturus</i> ²⁾	9.97	16.21	71.43	18.70	45.71	47.90	57.14	53.49

续表

种类 Species	光滩 Mudflat				草滩 Salt marsh zone			
	% N	% B	% FO	IRI	% N	% B	% FO	IRI
12 阿部鲮虾虎鱼 <i>Mugilogobius abei</i> ²⁾	0.08	0.01	14.29	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
13 棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i> ³⁾	25.70	4.11	57.14	17.03	1.10	0.39	14.29	0.21
14 小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i> ³⁾	4.82	2.66	14.29	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00
15 鲢鱼 <i>Müchthys müüy</i> ³⁾	0.34	0.12	14.29	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
鲇形目 Siluriformes								
16 中华海鲇 <i>Arius sinensis</i> ³⁾	1.61	0.50	28.57	0.60	1.10	0.56	14.29	0.24
鲱形目 Clupeiformes								
17 刀鲚 <i>Coilia ectenes</i> ⁴⁾	0.42	0.29	57.14	0.41	0.22	0.12	14.29	0.05
鲽形目 Pleuronectiformes								
18 窄体舌鳎 <i>Cynoglossus gracilis</i> ²⁾	0.76	0.61	28.57	0.39	0.22	0.06	14.29	0.04
19 焦氏舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i> ²⁾	0.17	1.62	14.29	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
20 短吻三线舌鳎 <i>Cynoglossus abbreviatus</i> ²⁾	0.68	0.41	28.57	0.31	0.88	0.35	14.29	0.18
鲟形目 Acipenseriformes								
21 中华鲟 <i>Acipenser sinensis</i> ⁴⁾	0.08	0.87	14.29	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
鳗鲡目 Anguilliformes								
22 鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i> ⁴⁾	0.08	0.70	14.29	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00

1) 淡水鱼类 Freshwater fish; 2) 定居性河口鱼类 Resident estuarine fish; 3) 海洋鱼类 Marine fish; 4) 洄游鱼类 Migratory fish; % N: 相对多度 Relative abundance; % B: 相对生物量 Relative biomass; % FO: 相对频度 Relative frequency of occurrence; IRI: 相对重要性指数 Index of relative importance

调查期间,光滩共记录鱼类 9 目 13 科 20 种,其中定居性河口鱼类 10 种,占 50%;主要优势种为定居性河口鱼类鲮 (*Mugil cephalus*) ($IRI>20$),其他包括定居性河口鱼类斑尾刺虾虎鱼 (*Acanthogobius ommaturus*)、狼牙鰻虾虎鱼 (*Taenioides rubicundus*)、棱鲃 (*Liza carinatus*) 和海洋鱼类棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*) 也具有一定的优势特征 ($20>IRI>10$)。

调查期间,草滩共记录鱼类 5 目 10 科 13 种,其中定居性河口鱼类 10 种,占 76.9%;主要优势种均为定居性河口鱼类,包括斑尾刺虾虎鱼、鲮和棱鲃 ($IRI>20$);其他淡水鱼类、海洋鱼类以及洄游鱼类在草滩区域基本不出现或偶尔有记录,它们的相对多度 (% N)、相对生物量 (% B)、相对频度 (% FO) 的量值均较小或为零,它们在草滩区域的重要性也较低 ($IRI<0.05$)。

从光滩和草滩鱼类物种数、个体数、生物量和物种多样性对比情况来看,光滩区域各项指标均高于草滩。光滩和草滩物种数接近 1.5:1,共有种为 11 种,有 9 种鱼类只在光滩生境有记录,而有 2 种鱼类只在草滩生境有记录。光滩和草滩个体数接近 2.6:1,生物量接近 1.4:1。光滩鱼类的物种多样性指数值,无论是 Margalef 物种丰富度指数、Pielou 均匀度指数,还是 Shannon-Wiener 多样性指数,均高于草滩鱼类,如图 2 所示。

2.2 主要优势种在不同生境的体长特征

光滩和草滩共有的优势种为斑尾刺虾虎鱼、鲮和棱鲃。它们在不同生境中个体的体长存在明显差异,如图 3 所示。3 种优势种的平均体长均是草滩大于光滩,但是不同种类间有一定差异:斑尾刺虾虎鱼在两种生境中的体长并没有显著差异 ($P>0.05$),但鲮和棱鲃在草滩

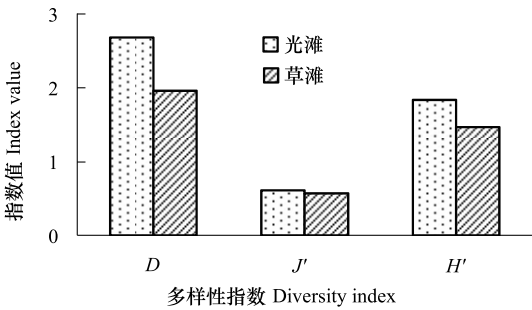


图 2 不同生境鱼类的物种多样性

Fig. 2 Species diversity of the fish assemblages in the different habitats

D: Margalef 物种丰富度指数 Margalef species richness index; J': Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index; H': Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index

生境中个体的体长显著高于光滩生境中的个体 ($P < 0.01$);斑尾刺虾虎鱼、梭鲈在草滩区域的体长范围要比光滩区域宽,个体特别大或者特别小的鱼类均出现在草滩区域;而鲮则正好相反。

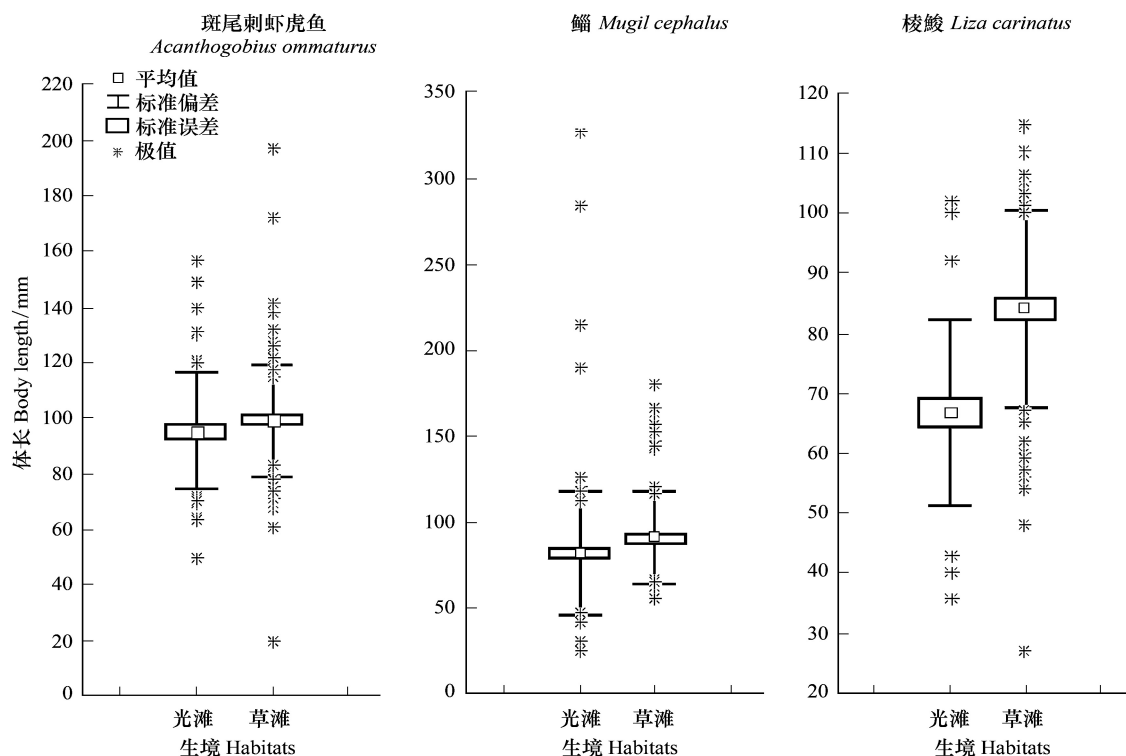


图3 主要优势种不同生境体长特征

Fig. 3 Body length of the major dominant species in the different habitats

2.3 不同生境鱼类月际变化

两种不同生境中的鱼类物种数、个体数及生物量存在明显的月际变化,如图4所示。在大多数情况下,光滩鱼类的物种数和个体数要高于草滩,但是并没有特定的对应关系。 t 检验结果表明,每月光滩和草滩中的鱼类物种数、个体数和生物量并没有显著差异 ($P > 0.05$)。回归分析结果表明,它们之间也不存在显著的相关关系 ($P > 0.05$)。

不同生境各月鱼类组成的等级聚类与非度量多维标度排序分析结果基本一致 (Stress = 0.13, 具有一定参考价值),如图5所示。不同生境各月鱼类组成基本分成了两组:4月、5月草滩和光滩鱼类以及11月草滩鱼类分为一组,两种生境其余月份鱼类分为一组。除了在4月份草滩和光滩鱼类组成具有很高的相似性(相似度 > 90%),在5月份具有一定的相似性外(相似度 > 70%),其他月份草滩和光滩鱼类之间的相似性基本都小于 50%。

3 讨论与结论

3.1 河口潮间带盐沼植被分布区与光滩鱼类组成特征

从生态类群的组成特征来看,已有研究表明,河口盐沼湿地鱼类优势类群主要为定居性河口鱼类^[5, 13, 31]。本文研究结果与这一结果基本一致:定居性河口鱼类无论是物种数还是个体数均明显高于其他生态类群;在盐沼植被分布区定居性河口鱼类的优势度则更为突出。

从物种、数量、个体大小及多样性特征来看,相当多的研究发现,盐沼植被分布区鱼类通常较光滩区域密度高,个体相对较小;光滩区域鱼类的种类组成相对较为丰富,但通常由于个别物种数量较多,其整体多样性水平并不一定比植被分布区高;某些种类只出现在特定的植被生境^[3, 5, 8, 32]。但具体也因种类而异,如地中海沿岸的盐沼湿地,鲤齿目(Cyprinodontiformes)的黑线尾隐鲮(*Aphanius iberus*)成鱼在盐沼植被分布区密度高

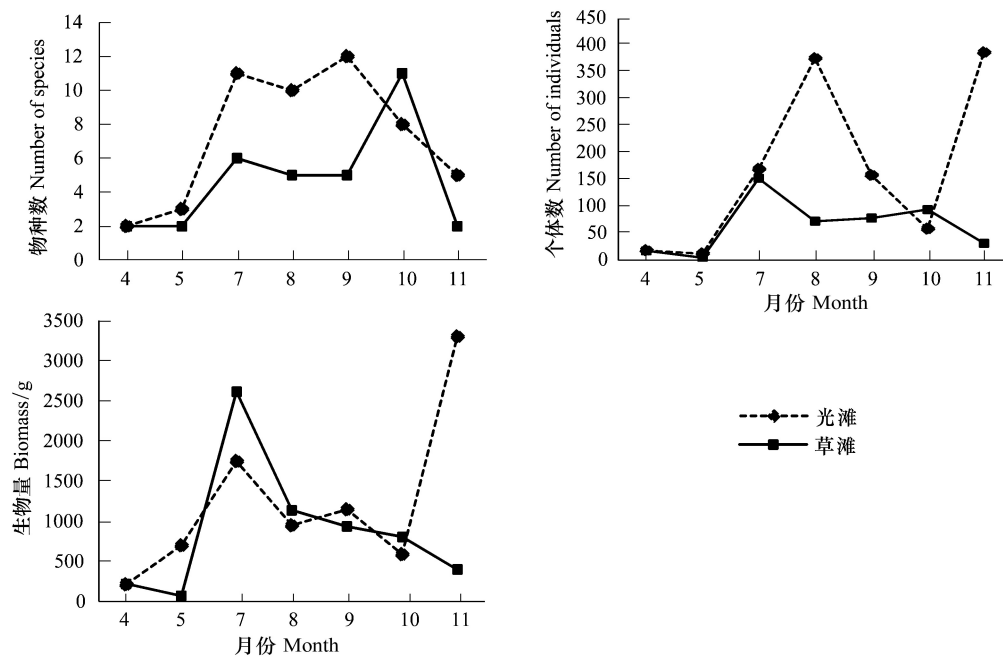


图 4 不同生境鱼类月际变化特征

Fig. 4 Monthly variation of the fishes in the different habitats

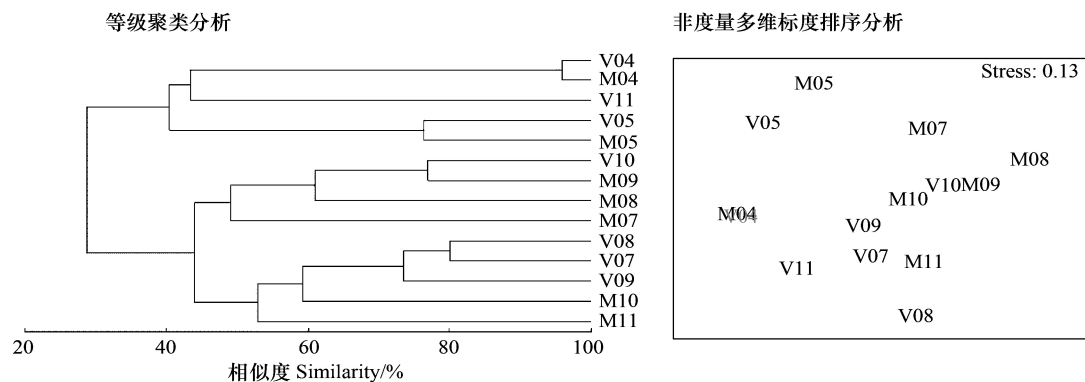


图 5 不同生境各月鱼类组成的等级聚类与非度量多维标度排序分析

Fig. 5 Cluster and nMDS analysis on the monthly fish assemblages in the different habitats

Stress=0.13; M: 光滩 Mudflat; V: 草滩 Salt marsh zone

于其他生境,但幼鱼密度在不同生境中较为相似^[33]。本文研究结果与已有研究存在一定差异。本研究发现,光滩区域记录的鱼类物种数、个体数、生物量和整体物种多样性水平均高于草滩区域;光滩和草滩区域鱼类相应的量比关系存在明显的月际变化,但两种生境间的关联性和差异性均不显著。而与已有研究差别最大的是,本研究发现,草滩区域鱼类优势种的平均体长要大于光滩区域,而且植被分布区部分优势种体长的上、下限范围也大于光滩区域。由此可以推断,长江河口盐沼植被分布区,除了育幼场外,还是许多鱼类成鱼的重要栖息地,包括可能的索饵场和产卵场。

3.2 影响潮间带盐沼湿地不同生境鱼类组成的主要因子

根据已有研究,影响潮间带盐沼湿地不同生境鱼类组成的主要因子大体可以分成两大类,一类为生物因子,另一类为非生物因子^[34]。生物因子根据来源特征又可以分为两大类。其一为鱼类自身的生物学和生活史特性,如 Able 等人研究发现同种鱼的成鱼和幼鱼的运动能力不同导致不同发育阶段个体生境分布的差异^[35],前述黑线尾隐鲈的成鱼和幼鱼在不同生境分布特征存在明显差异也是一个典型的例子^[33]。本文研究

中,不同生境鱼类组成的月季变化可能也与某些鱼类自身的生长发育有关。

其二为其他生物类群,包括鱼类相互间的影响。Kneib 早在上世纪 80 年代中期就提出假说认为,在潮间带中间较为稳定的盐沼分布区,群落的组织主要取决于生物因子,如竞争和捕食,而在潮下带或者高位区则主要受干扰和其他因子的影响^[36]。目前,相当多的研究证明,生物因子对鱼类群落在盐沼湿地不同生境中的分布具有重要影响。不同动物类群的出现与组成会影响各自在盐沼湿地,包括不同深度水层的分布^[7, 37];特别是饵料生物的组成与分布,往往直接关系到盐沼湿地鱼类的组成与分布^[34]。本研究发现,植被分布区鱼类群落的多度、生物量与同期海三棱藨草带大型底栖动物瓣鳃类的变化特征基本一致^[25],两者是否存在营养关系或者仅仅是数量变化上的巧合,还有待进一步研究。

除了动物类群,植被也是盐沼湿地非常重要的生物因素。虽然相当多的研究表明,植被类型的差异对鱼类群落的组成与分布的影响并不明显^[17, 38-39],但植被的出现^[40-41]、植被生长与表形特征,如植株密度^[42],却会对鱼类产生较大影响。本文研究中,4 月和 5 月草滩和光滩鱼类相似性较高,可能与这段时间海三棱藨草刚刚萌发,由此导致的生境差异还不明显有关。

除了生物因素外,河口各种非生物的环境因素,包括温度、盐度和淡水径流^[43-44]、潮汐特性^[38-39, 45]、淹水深度^[46]等,都会对盐沼湿地鱼类的组成与分布产生重要影响。这些生物与非生物因素并不是单独起作用,而是相互联系、相互影响,共同作用于鱼类群落^[34]。如 Lopez 等人对盐沼湿地食蚊鱼(*Fundulus jenkinsi*)研究发现,在下列条件下具有较高的密度:植株密度<25 株/0.25 m²,水深<25 cm,岸坡<15°,浊度<30 NTU,盐度<16,水温>15℃^[42]。长江河口是世界特大型河口,生物组成多样,环境条件复杂多变,其盐沼湿地鱼类的组成与分布势必受多种因素的影响,其综合作用机理还有待进一步研究。

致谢:中国水产科学研究院东海水产研究所张衡博士协助鉴定部分鱼种;华东师范大学河口海岸学国家重点实验室张利权教授对本文写作给予帮助;崇明东滩鸟类国家级自然保护区管理处对调研工作给予支持。

References:

- [1] Laffaille P, Pétilion J, Parlier E, Valéry L, Ysnel F, Radureau A, Feunteun E, Lefeuvre J C. Does the invasive plant *Elymus athericus* modify fish diet in tidal salt marshes? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 65(4): 739-746.
- [2] Sá R, Bexiga C, Veiga P, Vieira L, Erzini K. Feeding ecology and trophic relationships of fish species in the lower Guadiana River Estuary and Castro Marim e Vila Real de Santo António salt marsh. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 70(1/2): 19-26.
- [3] França S, Costa M J, Cabral H N. Assessing habitat specific fish assemblages in estuaries along the Portuguese coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 83(1): 1-12.
- [4] Lefeuvre J C, Laffaille P, Feunteun E. Do fish communities function as biotic vector of organic matter between salt marshes and marine coastal waters? *Aquatic Ecology*, 1999, 33(3): 293-299.
- [5] Laffaille P, Feunteun E, Lefeuvre J C. Composition of fish communities in a European macrotidal salt marsh (the Mont Saint-Michel Bay, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 51(4): 429-438.
- [6] Haertel-Borer S S, Allen D M, Dame R F. Fishes and shrimps are significant sources of dissolved inorganic nutrients in intertidal salt marsh creeks. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, 311(1): 79-99.
- [7] Bretsch K, Allen D M. Effects of biotic factors on depth selection by salt marsh nekton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 334(1): 130-138.
- [8] Stolen E D, Collazo J A, Percival H F. Vegetation effects on fish distribution in impounded salt marshes. *Southeastern Naturalist*, 2009, 8(3): 503-514.
- [9] Galleher S N, Gonzalez I, Gilg M R, Smith K J. Abundance and distribution of larval and juvenile *Fundulus heteroclitus* in northeast Florida marshes. *Southeastern Naturalist*, 2009, 8(3): 495-502.
- [10] Goto D, Wallace W G. Altered feeding habits and strategies of a benthic forage fish (*Fundulus heteroclitus*) in chronically polluted tidal salt marshes. *Marine Environmental Research*, 2011, 72(1/2): 75-88.
- [11] Connolly S R, Huges T P, Bellwood D R, Karlson R H. Community structure of corals and reef fishes at multiple scales. *Science*, 2005, 309(5739): 1363-1365.
- [12] Mitsch W J. Applying science to conservation and restoration of the world's wetlands. *Water Science and Technology*, 2005, 51(8): 13-26.

- [13] Zhang H, Zhu G P. Spatiotemporal changes of fish community in Yangtze estuary intertidal zone. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20 (10): 2519-2526.
- [14] Jin B S, Fu C Z, Zhong J S, Li B, Chen J K, Wu J H. Fish utilization of a salt marsh intertidal creek in the Yangtze River estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 73 (3/4): 844-852.
- [15] Jin B S, Qin H M, Xu W, Wu J H, Zhong J S, Lei G C, Chen J K. Nekton use of intertidal creek edges in low salinity salt marshes of the Yangtze River estuary along a stream-order gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2010, 88 (3): 419-428.
- [16] Quan W M, Ni Y, Shi L Y, Chen Y Q. Composition of fish communities in an intertidal salt marsh creek in the Changjiang River estuary, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2009, 27 (4): 806-815.
- [17] Quan W M, Shi L Y, Chen Y Q. Comparison of nekton use for cordgrass *Spartina alterniflora* and bulrush *Scirpus mariqueter* marshes in the Yangtze River Estuary, China. *Estuaries and Coasts*, 2011, 34 (2): 405-416.
- [18] Yang S L, Zhang J, Zhu J, Smith J P, Dai S B, Gao A, Li P. Impact of dams on Yangtze River sediment supply to the sea and delta intertidal wetland response. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110: F03006, doi: 10.1029/2004JF000271.
- [19] Yang S L, Gao A, Hotz H M, Zhu J, Dai S B, Li M. Trends in annual discharge from the Yangtze River to the sea (1865—2004). *Hydrological Sciences Journal*, 2005, 50 (5): 825-836.
- [20] Yang S L, Li M, Dai S B, Liu Z, Zhang J, Ding P X. Drastic decrease in sediment supply from the Yangtze River and its challenge to coastal wetland management. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33 (6): L06408, doi: 10.1029/2005GL025507.
- [21] Zhang H, He W S, Tong C F, Lu J J. Species composition and biodiversity of the intertidal fishes in Chongxi wetland in winter in Changjiang Estuary. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16 (3): 308-313.
- [22] Yuan X Z, Liu H, Lu J J. Influence of characteristics of *Scirpus mariqueter* community on the benthic macroinvertebrate in a salt marsh of the Changjiang Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (3): 326-333.
- [23] Yang S L, Li H, Ysebaert T, Bouma T J, Zhang W X, Wang X Y, Li P, Li M, Ding P X. Spatial and temporal variations in sediment grain size in tidal wetlands, Yangtze Delta: on the role of physical and biotic controls. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, 77 (4): 657-671.
- [24] Yuan X Z, Liu H, Lu J J. Effect of *Scirpus mariqueter* vegetation on salt marsh benthic macrofaunal community of the Changjiang Estuary. *Journal of Coastal Research*, 2005, 21 (1): 73-78.
- [25] Tong C F, Zhang F J, Lu J J. Variation characteristics of the macrobenthic fauna community in the *Scirpus mariqueter* zone of the Yangtze Estuary during the growing seasons. *Zoological Research*, 2007, 28 (6): 640-646.
- [26] Huang H M, Zhang L Q, Yuan L. The spatio-temporal dynamics of salt marsh vegetation for Chongming Dongtan National Nature Reserve, Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (10): 4166-4172.
- [27] Wang Z H, Zhang S Y, Wang K. Fish and macroinvertebrates community structure in artificial habitat around Sanheng Isle, Shengsi, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (8): 2026-2035.
- [28] An C G, Zhao Y L, Lin L, Lü G T, Chen Y Q. Primary investigation of seasonal characters of macrobenthic communities distribution in tidal flats of Jiuduansha wetland of Yangtze River estuary. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31 (Suppl): 52-58.
- [29] Clarke K R, Warwich R M. *Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2nd ed. Plymouth: PRIMERE, 2001.
- [30] Yang Z H, Tong C F, Lu J J. Effects of salt marsh on the benthic macroinvertebrate community in Yangtze Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (11): 4387-4393.
- [31] Jia X H, Zhang H, Jiang K Y, Wu M. Seasonal changes of fish species composition and diversity in mudflat wetlands of Hangzhou Bay. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21 (12): 3248-3254.
- [32] Neahr T A, Stunz G W, Minello T J. Habitat use patterns of newly settled spotted seatrout in estuaries of the north-western Gulf of Mexico. *Fisheries Management and Ecology*, 2010, 17 (5): 404-413.
- [33] Alcaraz C, Pou-Rovira Q, Garcia-Berthou E. Use of a flooded salt marsh habitat by an endangered cyprinodontid fish (*Aphanius iberus*). *Hydrobiologia*, 2008, 600 (1): 177-185.
- [34] Valiñas M S, Molina L M, Addino M, Montemayor D I, Acha E M, Iribarne O O. Biotic and environmental factors affect Southwest Atlantic saltmarsh use by juvenile fishes. *Journal of Sea Research*, 2012, 68: 49-56.
- [35] Able K W, Hagan S M, Brown S A. Habitat use, movement, and growth of young-of-the year *Fundulus* spp. in southern New Jersey salt marshes: comparisons based on tag/recapture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 335 (2): 177-187.
- [36] Kneib R T. Patterns of invertebrate distribution and abundance in the intertidal salt marsh: causes and questions. *Estuaries*, 1984, 7 (4): 392-412.
- [37] Cross R E, Stiven A E. Experimental studies of competition in salt marsh juvenile fish (*Fundulus heteroclitus* Linnaeus) and shrimp (*Palaemonetes*

- pugio* Holthuis) in laboratory microcosms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1997, 212(1): 133-146.
- [38] Kimball M E, Able K W. Nekton utilization of intertidal salt marsh creeks: tidal influences in natural *Spartina*, invasive *Phragmites*, and marshes treated for *Phragmites* removal. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 346(1/2): 87-101.
- [39] Kimball M E, Able K W. Tidal utilization of nekton in Delaware Bay restored and reference intertidal salt marsh creeks. *Estuaries and Coasts*, 2007, 30(6): 1075-1087.
- [40] Crinall S M, Hindell J S. Assessing the use of saltmarsh flats by fish in a temperate Australian embayment. *Estuaries*, 2004, 27(4): 728-739.
- [41] Minello T J, Able K W, Weinstein M P, Hays C G. Salt marshes as nurseries for nekton: testing hypotheses on density, growth and survival through meta-analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 246: 39-59.
- [42] Lopez J D, Peterson M S, Walker J, Grammer G L, Woodrey M S. Distribution, abundance, and habitat characterization of the saltmarsh topminnow, *Fundulus jenkinsi* (Everman 1892). *Estuaries and Coasts*, 2011, 34(1): 148-158.
- [43] Akin S, Winemiller K O, Gelwick F P. Seasonal and spatial variations in fish and macrocrustacean assemblage structure in Mad Island Marsh estuary, Texas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 57(1/2): 269-282.
- [44] Veiga P, Vieira L, Bexiga C, S R, Erzini K. Structure and temporal variations of fish assemblages of the Castro Marim Salt Marsh, southern Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 70(1/2): 27-38.
- [45] Hampel H, Cattrijsse A, Vincx M. Tidal, diel and semi-lunar changes in the faunal assemblage of an intertidal salt marsh creek. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 56(3/4): 795-805.
- [46] Bretsch K, Allen D M. Tidal migrations of nekton in salt marsh intertidal creeks. *Estuaries and Coasts*, 2006, 29(3): 474-486.

参考文献:

- [13] 张衡, 朱国平. 长江河口潮间带鱼类群落的时空变化. *应用生态学报*, 2009, 20(10): 2519-2526.
- [21] 张衡, 何文珊, 童春富, 陆健健. 崇西湿地冬季潮滩鱼类种类组成及多样性分析. *长江流域资源与环境*, 2007, 16(3): 308-313.
- [22] 袁兴中, 陆健健, 刘红. 河口盐沼植物对大型底栖动物群落的影响. *生态学报*, 2002, 22(3): 326-333.
- [25] 童春富, 章飞军, 陆健健. 长江口海三棱藨草带生长季大型底栖动物群落变化特征. *动物学研究*, 2007, 28(6): 640-646.
- [26] 黄华梅, 张利权, 袁琳. 崇明东滩自然保护区盐沼植被的时空动态. *生态学报*, 2007, 27(10): 4166-4172.
- [27] 汪振华, 章守宇, 王凯. 三横山鱼礁生境鱼类和大型无脊椎动物群落特征. *生态学报*, 2010, 30(8): 2026-2035.
- [28] 安传光, 赵云龙, 林凌, 吕敢堂, 陈亚瞿. 长江口九段沙潮间带大型底栖动物季节分布特征的初步研究. *水产学报*, 2007, 31(增刊): 52-58.
- [30] 杨泽华, 童春富, 陆健健. 盐沼植物对大型底栖动物群落的影响. *生态学报*, 2007, 27(11): 4387-4393.
- [31] 贾兴焕, 张衡, 蒋科毅, 吴明. 杭州湾滩涂湿地鱼类种类组成和多样性季节变化. *应用生态学报*, 2010, 21(12): 3248-3245.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,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

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 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 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:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元