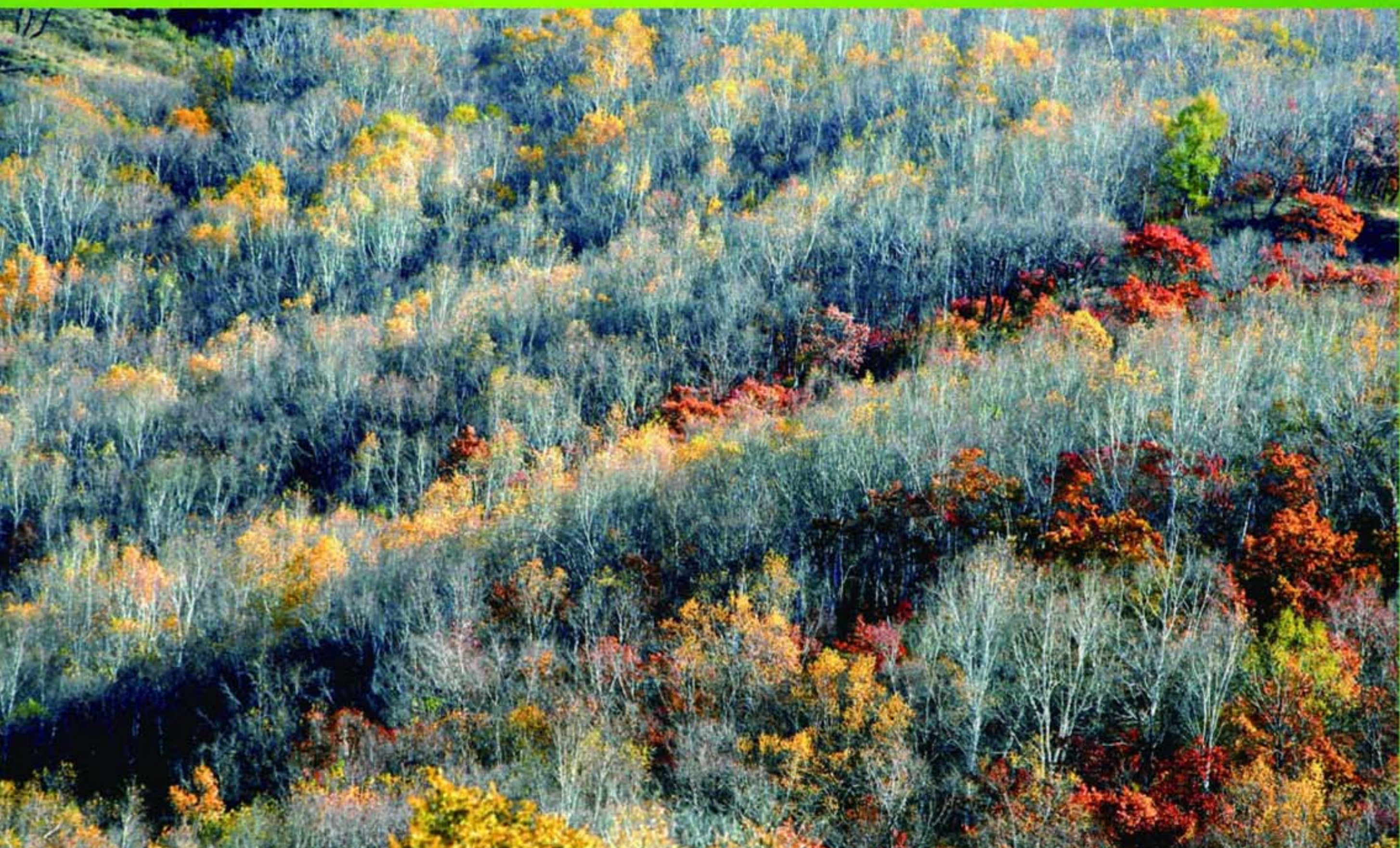
ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 16 期 Vol.31 No.16 2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

（SHENGTAI XUEBAO）

第 31 卷 第 16 期　　2011 年 8 月　（半月刊）

目　　次

人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性的比较……………… 汪仲琼，王为东，祝贵兵，等（4489）
不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟…………………… 郎　莹，张光灿，张征坤，等（4499）
不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响……………………………………
……………………………………………………………………………… 秦志敏，付晓青，肖润林，等（4509）
镉胁迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响………………… 吴　坤，吴中红，邰付菊，等（4517）
条浒苔和缘管浒苔对镉胁迫的生理响应比较…………………………… 蒋和平，郑青松，朱　明，等（4525）
盐胁迫对拟南芥和盐芥莲座叶芥子油苷含量的影响…………………… 庞秋颖，陈思学，于　涛，等（4534）
长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响…………… 高菊生，曹卫东，李冬初，等（4542）
基于水量平衡下灌区农田系统中氮素迁移及平衡的分析………………… 杜　军，杨培岭，李云开，等（4549）
苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长…………………………… 徐伟伟，王国祥，刘金娥，等（4560）
基于 AnnAGNPS 模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价 ……………… 田耀武，黄志霖，肖文发（4568）
镉污染对不同生境拟水狼蛛氧化酶和金属硫蛋白应激的影响…………… 张征田，庞振凌，夏　敏，等（4579）
印度洋南赤道流区水体叶绿素 a 的分布及粒级结构……………………… 周亚东，王春生，王小谷，等（4586）
长江口滩涂围垦后水鸟群落结构的变化——以南汇东滩为例…………… 张　斌，袁　晓，裴恩乐，等（4599）
应用鱼类完整性指数（FAII）评价长江口沿岸碎波带健康状况　………… 毛成责，钟俊生，蒋日进，等（4609）
基于渔业调查的南极半岛北部水域南极磷虾种群年龄结构分析………… 朱国平，吴　强，冯春雷，等（4620）
水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价 …………… 莫志鸿，冯利平，邹海平，等（4628）
旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡 …………………………………… 王小彬，王　燕，代　快，等（4638）
宁夏黄灌区稻田冬春休闲期硝态氮淋失量………………………………………………… 王永生，杨世琦（4653）
太湖沉积物有机碳与氮的来源……………………………………………… 倪兆奎，李跃进，王圣瑞，等（4661）
日偏食对乌鲁木齐空气可培养细菌群落的影响…………………………… 马　晶，孙　建，张　涛，等（4671）
灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较………………………………… 吕　进，曹婷婷，王丽萍，等（4680）
圈养马来熊行为节律和时间分配的季节变化……………………………… 兰存子，刘振生，王爱善，等（4689）
塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征…………………………………… 韩　路，王海珍，陈加利，等（4699）
珍稀植物伯乐树一年生更新幼苗的死亡原因和保育策略………………… 乔　琦，秦新生，邢福武，等（4709）
垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响 ……………… 多立安，王晶晶，赵树兰（4717）
CLM3.0-DGVM 中植物叶面积指数与气候因子的时空关系 ………………………………… 邵　璞，曾晓东（4725）
基于生态效率的辽宁省循环经济分析 ………………………………………………… 韩瑞玲，佟连军，宋亚楠（4732）
专论与综述
土壤食物网中的真菌／细菌比率及测定方法 …………………………………… 曹志平，李德鹏，韩雪梅（4741）
生态社区评价指标体系研究进展…………………………………………… 周传斌，戴　欣，王如松，等（4749）
问题讨论
不同胁迫条件下化感与非化感水稻 *PAL* 多基因家族的差异表达 ……… 方长旬，王清水，余　彦，等（4760）
研究简报
钦州湾大型底栖动物生态学研究 ………………………………………………… 王　迪，陈丕茂，马　媛（4768）
人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征 ……………………… 董凯凯，王　惠，杨丽原，等（4778）
基于地统计学丰林自然保护区森林生物量估测及空间格局分析………… 刘晓梅，布仁仓，邓华卫，等（4783）
晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究……………………………………………… 隋旭红，张建军，文万荣（4791）
小兴安岭典型苔草和灌木沼泽 N_2O 排放及影响因子 ……………………… 石兰英，牟长城，田新民，等（4799）
期刊基本参数：CN 11-2031/Q＊1981＊m＊16＊316＊zh＊P＊￥70.00＊1510＊35＊2011-08

封面图说：在长白山麓低海拔地区的晚秋季节，成片的白桦林用无数根白色的树干、树枝烘托着林冠上跳动的金黄色叶片，共生的柞木树冠用更浓重的颜色显示了它的存在，整个山梁层林尽染，秋意浓浓。

彩图提供：陈建伟教授　国家林业局　E-mail：cites.chenjw@163.com

毛成责,钟俊生,蒋日进,葛珂珂,林楠.应用鱼类完整性指数(FAII)评价长江口沿岸碎波带健康状况.生态学报,2011,31(16):4609-4619.
Mao C Z, Zhong J S, Jiang R J, Ge K K, Lin N. Application of fish assemblage integrity index(FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary. Acta Ecologica Sinica,2011,31(16):4609-4619.

应用鱼类完整性指数(FAII)评价长江口沿岸碎波带健康状况

毛成责[1],钟俊生[1,*],蒋日进[2],葛珂珂[3],林 楠[4]

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院,上海 201306;2. 浙江省海洋水产研究所,舟山 316100;3. 江苏省海洋水产研究所,南通 226007;4. 中国水产科学研究院东海水产研究所,农业部海洋与河口渔业资源及生态重点开放实验室,上海 200090)

摘要:基于2006年11月—2007年10月在长江口的13个站点的仔稚鱼群落周年调查,探索了鱼类完整性指数(FAII)在河口水域鱼类栖息地环境评价中的应用。结果显示各站点周年的FAII值介于0—46之间,根据FAII等级划分标准,碎波带健康状况全年处于一般到极差的水平。根据周年的FAII值进行系统聚类将所有站点分为4组,位于水源保护区外侧(St.4,St.10)和西沙湿地公园附近(St.9)的几个站点的FAII值相对较高且相对稳定,而健康状况越差的站点(St.1,St.11—St.13)的FAII值越低且波动越大;从各站点的周年变化来看,FAII值夏季最高而冬季最低,这主要是由于夏季水温升高,大量洄游性种类在碎波带暂时性栖息。FAII与Margalef丰富度指的周年变化有一定的相似性,但与Shannon—Wiener多样性指数的变化却有很大的差异。上述结果表明碎波带仔稚鱼FAII值的季节性变化明显,人为干扰引起的碎波带周围环境的破坏对碎波带仔稚鱼的鱼类完整性下降有着重要影响。

关键词:鱼类完整性指数(FAII);长江口;碎波带;健康状况;评价

Application of fish assemblage integrity index(FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary

MAO Chengze[1], ZHONG Junsheng[1,*], JIANG Rijin[2], GE Keke[3], LIN Nan[4]

1 *College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University*, 201306, *China*

2 *Zhejiang Marine Fisheries Research Institute*, *Zhoushan* 316100, *China*

3 *Marine Fisheries Research Institute of Jiangsu*, *Nantong* 226007, *China*

4 *Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries*, *Ministry of Agriculture*, *East China Sea Fisheries Research Institute*, *Chinese Academy of Fishery Sciences*, *Shanghai* 200090, *China*

Abstract: FAII (fish assemblage integrity index) is used extensively to assess environmental quality of fish habitat in the world. The method was first raised as IBI (index of biotic integrity) by Karr, then improved and developed by Deegan et al., Kleynhans, Kesminas et al. and Lin Xinhui. However, this method is not yet commonly used in China.

Appled the FAII to the environmental assessment of fish habitat, specifically, the nursery ground in the estuarine waters of theYangtze River. Field work was conducted monthly during the high tide from November 2006 to October 2007 at 13 stations of the Yangtze River estuary, in the surf zone (0.5—1.5 meter water depth) using small trawls (1 m×4 m, mesh size 1 mm). A total of 6734 fish larvae and juveniles, representing 78 species from 29 families were collected. The fish collection consists of marine, estuarine, diadromous and freshwater species. All species are grouped accordingly to the trophic levels, tolerance and the water layer of the habit, only one exotic and one hybrid species. No fish were collected in

基金项目:农业部东海区渔政局项目(6660106237);上海市科委重点项目(08391910200);上海市重点学科水生生物学建设项目(S30701)

收稿日期:2010-09-18; **修订日期**:2011-01-10

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: jszhong@shfu.edu.cn

St. 1 and St. 13 between November 2006 and March 2007, neither in St. 12 between November 2006 and May 2007.

Ten FAII indices are selected to analyze our data based on the fact that our research focus on the surf zone of theYangtze River estuary, and the fish collected are mainly larvae and juveniles. Karr defined nine categories of environment quality based on the FAII values, i. e. 57 — 60 as "excellent", 45 — 47 as "general" and less than 24 as "very poor", et al. The FAII value in our 13 stations ranged from 0 to 46 with an average value of 21.08. The maximum FAII value is detected at St. 12 in the month of July. The St. 4 has an annual average value of 28, the highest among all 13 stations. The result indicates that the environmental quality of the surf zone in the Yangtze River estuary falls into fair to very poor categories. The hierarchical clustering (based on monthly FAII) shows that the stations could be classified into 4 groups, [group one consists of St. 1, Sts. 12—13; Sts. 2—3 and St. 5 are in group two; St. 6 and St. 11 are in group three; group four consists of St. 4, Sts. 7—10.]. FAII of station in poor categories are more fluctuating than that in fair categories. Besides, there is a noticeable seasonal fluctuation of the FAII that is higher in the summer months and lower in the winter months. The average FAII value reaches the "general "category in eight stations (St. 1, St. 4 and St. 8 to St. 13) during the months from May to August, while this value remains at the "poor" or the "very poor" categories even in the summer months. The seasonal variation of FAII was similar to that of Margalef richness index, but was significantly different from that of Shannon—Wiener diversity index. Results of the study suggest that environmental monitoring and remediation of the surf zone of the Yangtze River estuary are necessary for the recruitment of the fish larvae and juveniles.

Key Words: fish assemblage integrity index (FAII); Yangtze River estuary; surf zone; health status; habitat assessment

自 Karr[1]最初提出了生物完整性指数(index of biotic integrity,IBI)以来,作为环境评价的可靠工具,该指数已经在世界范围内被广泛接受和应用。有很多生物类群被用作环境质量的指示物种,特别是鱼类在食物链中位置以及对水质的高度敏感性,在群落水平上的广幅耐受性和不同水域种类组成的特异性,使鱼类群聚被认为是评价水域生物完整性理想的物种[2-4]。

随着生物完整性评价的发展,IBI 也得到了不同程度的完善和发展。Deegan 等人[5-6]基于河口鱼类群落的生物完整性对美国马萨诸塞州东南一系列河口海湾鱼类栖息环境的功能作了整体性评价,并将这一套指数家系命名为河口生物完整性指数(estuarine biotic integrity,EBI)。随后,Kleynhans[7]进一步提出了鱼类完整性指数(fish assemblage integrity index,FAII)的概念,利用此指数评价了南非 Crocodile River 不同河段鱼类群落生境的健康状况。

在我国,生物完整性指数的应用还较少,且仅局限于内河及浅水湖泊[8-9],至今还未有在河口水域渔业资源管理方面的应用。本研究以长江口水域沿岸碎波带周年调查的仔稚鱼多样性及补充量的结果为基础,结合多环境因子,运用鱼类完整性指数法(FAII)、综合多样性指数,对长江口沿岸仔稚鱼资源管理进行初步探讨,旨在建立一套适用于河口水域生态系统鱼类栖息地评价的技术体系。

1 材料与方法

1.1 调查时间、地点及方法

2006 年 11 月—2007 年 10 月,在长江口沿岸碎波带设置 13 个站位点(图 1),每月大潮期间,在水深 0.5—1.5m 处,沿海岸平行方向,步行拖曳小型拖网(1m×4m,网目 1mm)采集仔稚鱼,每个站位点重复拖网 3 次。在现场同时测量水温和盐度,并用 5% 的海水福尔马林固定标本。

在实验室内将采集到的仔稚鱼鉴定到科、属、种,记录每个站点的种类数和个体数。根据相关文献[10-15],台湾鱼类资料库及 Fishbase 网站的信息确定每种鱼的栖息环境,营养类型,耐受性及是否外来或天然杂交种。

1.2 鱼类生物完整性指数计算

Karr[2,16]将评价的指标分为物种丰度及组成,营养类型组成及物种的多度和健康状况 3 大类,总共 12 项属性。每项属性根据鱼类群落的情况给予 5 分,3 分,1 分的评价,各项得分的总和即为该站点的 FAII 值。各

项属性可随着经度纬度变化,水文地貌特征的改变以及鱼类对环境变化的敏感程度做适当的修改或增减[8-9,17-18]。

本研究的水域为长江河口南北两支沿岸碎波带,受潮汐影响剧烈,采集到的鱼类个体以仔稚鱼为主。结合以上特点,综合 Deegan 等人[6-7],Karr[2,16],Kesminas[19]及林信辉等[20]的研究方法,选取了适合评价河口 FAII 的 10 个指标(表 1)。其中属性 M_1 涵盖了 Deegan[7]中提到河口定居种,河口育肥种及河口产卵种 3 个指标,所以给此项属性加 3 个权重(刀鲚单种的大量出现使 FAII 的多项指标评分出现较大的偏差,因此本研究没有将刀鲚列入各项属性值的计算)。FAII 计算公式为:

$$\text{FAII} = M_1 \times 3 + M_2 + M_3 + \cdots + M_{10}$$

FAII 总分最高为 60 分,分数越高说明仔稚鱼群落及其生境的健康状况越好。

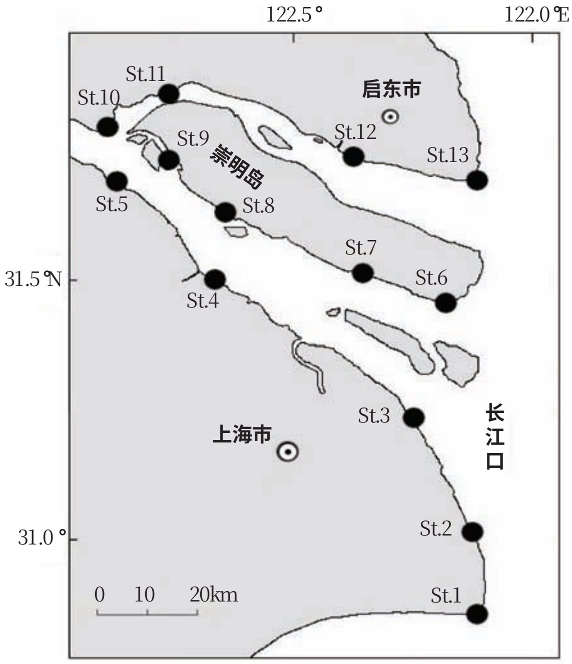


图 1　长江口沿岸碎波带仔稚鱼调查站位图

Fig. 1　Stations for collecting fish larvae and juveniles in the surf zone of the Yangtze River estuary

1.3　FAII 总分等级划分标准及定义

Karr[2]根据不同分数段划分了 9 等级:极好 57—60;极好—良好 53—56;良好 48—52;良好——一般 45—47;一般 40—44;一般—差 36—38;差 28—35;差—极差 24—27;极差<24;Karr 对未采集到鱼这一情况没有给出评分标准,在本研究中将该情况定义为 0 分。

表 1　长江口碎波带 FAII 评价指标体系和赋分标准

Table 1　Adapted FAII metric system to the surf zone ofYangtze River estuary

评估属性 Metric	评分等级 Scores criteria		
	5 分	3 分	1 分
M_1 总种类数 Total number of species	≥15	15—8	<8
M_2 底栖鱼种数 Number of benthic species	≥9	3—9	<3
M_3 栖水层中鱼种数 Number of column species	≥10	4—10	<4
M_4 低耐污种数 Number of intolerant species	>4	2—4	<2
M_5 高耐污种类个体百分比 Proportion of tolerant species	<5%	5%—20%	>20%
M_6 杂食性种类个体百分比 Proportion of omnivores	<20%	20%—45%	>45%
M_7 虫食性种类个体百分比 Proportion of insectivorous	>45%	20%—40%	<20%
M_8 肉食性种类个体百分比 Proportion of carnivores	>5%	5%—1%	<1%
M_9 鱼类取样个体数 Number of individuals in sample	90	90—60	60
M_{10} 外来或天然杂交种个体百分 Proportion of hybrid or exotic individuals	0	0—1%	>1%

IBI 体系可根据研究水域和调查对象的不同情况作适当的修改。本研究以长江口沿岸碎波带仔稚鱼为调查对象,因此,对 FAII 总分的具体等级描述在 Karr[2]的基础上做了适当的修改(表 2)。

1.4　数据处理方法

实验中采用 SPSS13.0 对月份间和站点间 FAII 值进行方差分析,并根据周年的 FAII 值对 13 个站点进行系统聚类分析。

2 结果

2.1 种类组成及属性类型

周年调查共采集到仔稚鱼 6734 尾，隶属于 27 科，77 种，可划分为淡水种，河口性，洄游性和海性种类。按栖息地划分，底栖 38 种，占 49.4%；栖水层种 39 种，占 50.6%。按耐受性划分，低耐受种 60 种，占 77.9%；高耐受种 15 种，占 19.5%。按食性划分，杂食性 30 种，肉食性 31 种，虫食性 13 种，分别占总体的 39.0%，40.3% 和 16.9%。外来种和天然杂交种各 1 种，分别为食蚊鱼和鲫（*Carassius auratus auratus*）。所有采集标本中无畸形及病残个体。

表 2 FAII 等级划分和特征

Table 2 Classification of FAII and the characteristic corresponding to FAII level

FAII 值 Fish assemblage integrity index	完整性指数等级 Integrity class	特征描述 Attributes
57—60	极好 Excellent	没有受到人为干扰，所有期望内的仔稚鱼都有出现；营养结构平衡；无天然杂交种和入侵种
48—52	好 Good	仔稚鱼种类丰度低于期望值；营养结构因环境压力而改变；天然杂交个体极少
40—44	一般 Fair	仔稚鱼种类丰度低，低耐受种很少；杂食性个体比例明显增加
28—34	差 Poor	种类少且杂食性和耐受性种类占优势；适应能力弱的仔鱼消失；天然杂交和入侵种比例上升
12—22	极差 Very poor	除了耐受性极强的种类的稚鱼以外，其他鱼类极少；天然杂交和入侵种普遍
0	未采集到鱼 No fish	重复采样，没有采集到鱼

在所采集到的个体中，海鲢（*Elops saurus*）及大海鲢（*Megalops cyprinoides*）为长江口近年发现的暖水性种类仔鱼[21]。鳎类，如短吻舌鳎（*Cynoglossus abbreviatus*）及焦氏舌鳎（*Cynoglossus joyneri*）为典型的河口底栖性种类，也是被广泛使用的河口污染和生境退化的指示种类[7]。而大海鲢、鲫和麦穗鱼（*Pseudorasbora parva*）等则为典型的高耐污指示种类[13]。

表 3 2006 年 11 月—2007 年 10 月长江口沿岸碎波带仔稚鱼种类组成及属性类型

Table 3 The metrics and species composition of fish larvae and juveniles collected from the surf zone of Yangtze River estuary during November 2006 to October 2007

鱼种 Species	属性 Metric							
	底栖种①	水层种②	低耐污③	高耐污④	虫食性⑤	杂食性⑥	肉食性⑦	外来⑧或天然杂交种⑨
海鲢科 Elopidae								
海鲢 *Elops saurus*		√	√				√	
大海鲢科 Megalopidae								
大海鲢 *Megalops cyprinoides*		√		√			√	
鲱科 Clupeidae								
斑鰶绦 *Konosirus punctatus*		√	√			√		
鳓 *Ilisha elongata*		√	√				√	
鳀科 Engraulidae								
赤鼻棱鳀 *Thryssa kammalensis*		√	√		√			
银鱼科 Salangidae								
太湖新银鱼 *Neosalanx taihuensis*		√	√		√			
寡齿新银鱼 *Neosalanx oligodontis*		√	√		√			
有明银鱼 *Salanx ariakensis*		√	√				√	
新银鱼属 *Neosalanx* sp.		√	√		√			
鲤科 Cyprinidae								
鲫 *Carassius autatus auratus*		√		√		√		√

续表

鱼种 Species	属性 Metric							
	底栖种①	水层种②	低耐污③	高耐污④	虫食性⑤	杂食性⑥	肉食性⑦	外来⑧或天然杂交种⑨
草鱼 *Ctenopharyngodon idellus*		√	√					
红鳍鲌 *Culter erythropterus*		√	√				√	
蒙古红鲌 *Erythroculter mongolicus mongolicus*		√	√				√	
青梢红鲌 *Erythroculter dabryi dabryi*		√	√				√	
餐 *Hemiculter leucisculus leucisculus*		√	√			√		
油餐 *Hemiculter bleekeri bleekeri*		√	√			√		
麦穗鱼 *Pseudorasbora parva*		√		√		√		
银鮈 *Squalidus argentatus*		√	√			√		
蛇鮈 *Saurogobio dabryi*		√	√			√		
银飘鱼 *Pseudolaubuca sinensis*		√		√		√		
寡鳞飘鱼 *Pseudolaubuca engraulis*		√	√			√		
中华鳑鲏 *Rhodeus sinensis*		√	√			√		
高体鳑鲏 *Rhodeus ocellatus ocellatus*		√	√			√		
似鱎 *Toxabramis swinhonis*		√	√		√			
鳊 *Parabramis pekinensis*		√		√		√		
黄尾鲴 *Xenocypris davidi*	√		√			√		
鱊属 *Acheilognathus* sp.		√	√			√		
鲤科 Cyprinidae		√						
鲿科 Bagridae								
黄颡鱼 *Pelteobagrus fulvidraco*	√			√		√		
长须黄颡鱼 *Pelteobagrus eupogon*	√			√		√		
鳅科 Cobitidae								
泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus*	√			√		√		
花鳉科 Poeciliidae								
食蚊鱼 *Gambusia affinis affinis*		√		√	√			√
青鳉科 Oryziatidae								
青鳉 *Oryzias latipes latipes*		√	√		√			
鱵科 Hemiramphidae								
间下鱵 *Hyporhamphus intermedius*		√	√		√			
飞鱼科 Exocoetidae								
尖头文鳐鱼 *Hirundichthys oxycephalus*		√	√		√			
海龙鱼科 Syngnathidae								
尖海龙鱼 *Syngnathus acus*		√	√		√			
海马属 *Hippocampus* sp.	√		√			√		
鲻科 Mugilidae								
鮻 *Liza haematocheila*		√		√		√		
鲻 *Mugil cephalus*		√		√		√		
马鲅科 Polynemidae								
四指马鲅 *Eleutheronema tetradactylum*	√		√				√	
鮨科 Serranidae								
中国花鲈 *Lateolabrax maculatus*		√	√				√	
鳜属 *Siniperca* sp.		√	√				√	
鱚科 Sillaginidae								
多鳞鱚 *Sillago sihama*	√		√		√			
石首鱼科 Sciaenidae								
皮氏叫姑鱼 *Johnius belengerii*		√	√				√	
棘头梅童鱼 *Collichthys lucidus*	√		√				√	
鯻科 Teraponidae								
细鳞鯻 *Terapon jarbua*	√		√				√	
䲗科 Callionymidae								

续表

鱼种 Species	属性 Metric							
	底栖种①	水层种②	低耐污③	高耐污④	虫食性⑤	杂食性⑥	肉食性⑦	外来⑧或天然杂交种⑨
香䲗 *Repomucenus olidus*	√		√		√			
塘鳢科 Eleotridae								
黄黝 *Hypseleotris swinhonis*	√		√			√		
沙塘鳢 *Odontobutis obscurus*	√		√				√	
尖头塘鳢 *Eleotris oxycephala*	√		√				√	
虾虎鱼科 Gobiidae								
黄鳍刺虾虎鱼 *Acanthogobius flavimanus*	√		√				√	
斑尾刺虾虎鱼 *Acanthogobius ommaturus*	√		√				√	
普氏细棘虾虎鱼 *Acentrogobius pflaumi*	√		√				√	
深虾虎鱼 *Bathygobius fuscus*	√		√			√		
六丝矛尾虾虎鱼 *Chaeturichthys hexanema*			√				√	
爪哇拟虾虎鱼 *Pseudogobius javanicus*	√		√			√		
阿部鲻虾虎鱼 *Mugilogobius abei*	√		√			√		
髭虾虎鱼 *Triaenopogon barbatus*	√		√				√	
纹缟虾虎鱼 *Tridentiger trigonocephalus*	√		√				√	
波氏吻虾虎鱼 *Rhinogobius cliffordpopei*	√		√				√	
子棱吻虾虎鱼 *Rhinogobius giurinus*	√		√				√	
粘皮鲻虾虎鱼 *Mugilogobius myxodermus*	√		√			√		
长体刺虾虎鱼 *Acanthogobius elongata*	√		√				√	
棕刺虾虎鱼 *Acanthogobius luridus*	√		√				√	
褐吻虾虎鱼 *Rhinogobius brunneus*	√		√				√	
拟矛尾虾虎鱼 *Parachaeturichthys polynema*	√		√			√		
虾虎鱼科 Gobiidae	√							
大弹涂鱼 *Boleophthalmus pectinirostris*	√			√		√		
弹涂鱼 *Periophthalmus modestus*	√			√		√		
青弹涂鱼 *Scartelaos histophorus*	√		√			√		
红狼牙虾虎鱼 *Odontamblyopus rubicundus*	√			√		√		
格斗鱼科 Belontiidae								
圆尾斗鱼 *Macropodus chinensis*		√		√	√			
刺鳅科 Mastacembelidae								
刺鳅 *Mastacembelus aculeatus*		√	√				√	
鲬科 Platycephalidae								
鲬 *Platycephalus indicus*	√		√				√	
舌鳎科 Cynoglossidae								
焦氏舌鳎 *Cynoglossus joyneri*	√		√				√	
短吻舌鳎 *Cynoglossus abbreviatus*	√		√				√	
鲀科 Tetraodontidae								
弓斑多纪鲀 *Takifugu ocellatus*	√		√				√	

"√"表示属于该属性；①—⑨分别表示 benthic species, column species, intolerant species, tolerant species, insectivorous , omnivores, carnivores, exotic species, hybrid species

2.2 仔稚鱼 FAII 值及其时空变化

所有站点 FAII 均值为 21.08，变化范围在 0—46 之间；最大值出现在 7 月的 St. 12；所有站点中 St. 4 的 FAII 年均值最高为 28。月份间和站点间差异显著（月份间：$F_{(11,132)}=9.62$，$P<0.01$；站点间：$F_{(12,132)}=2.80$，$P<0.01$）。由各站点 FAII 值的周年时空分布图可知（图 2），长江口 13 个站位点只有 St. 1，St. 4，Sts. 8—13 这

8 个站点在 5—8 月达到过一般水平,其余各站点全年均处于差或极差的水平。从总体平均值的周年变化看(图 3),长江口碎波带的 FAII 值在春夏季呈递增趋势,并在 7 月出现峰值,且在夏季(6—8 月)要明显高于其他季节;8—10 月呈递减趋势,在冬季变化较小并维持在较低水平。

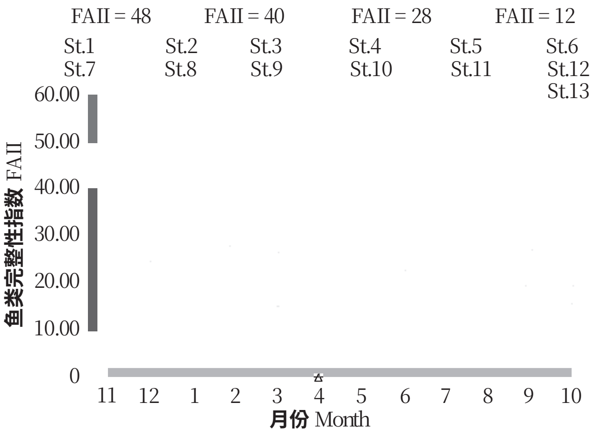


图 2　长江口碎波带 FAII 的时空变化

Fig. 2　The temporal and spatial variation of FAII in the surf zone of Yangtze River estuary

根据各站点周年 FAII 值,将 13 个站点进行系统聚类(图 4),结果可分为 4 组:第 1 组为 St. 1,Sts. 12—13;第 2 组为 Sts. 2—3,St. 5;第 3 组为 St. 6,St. 11;第 4 组为 St. 4,Sts. 7—10。第 1 组各站点在 1 年中有 5—7 个月没有采到鱼类样本,且 FAII 年平均值最低且周年波动最大,遂归为一组;St. 2—3,St. 5 分别位于大治河,白龙港和老太海汽渡,沿岸没有水生植被且受人类活动的干扰严重,FAII 值随时间波动较大,归为一组;St. 6,St. 11 位于崇明东滩和长江北支,夏季有较多的海洋种类出现,使 FAII 有暂时性的升高,可归为一组;St. 4,Sts. 9—10 FAII 在所有站点中均值最高且周年波动最小,而 Sts. 7—8 相对较低,因此第 4 组可分为 St. 4,Sts. 9—10 和 Sts. 7—82 个小组。

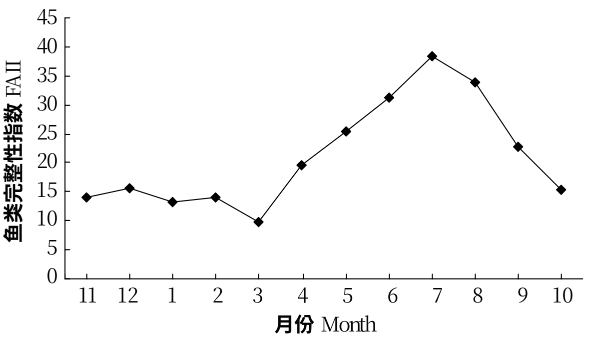


图 3　长江口碎波带 FAII 值的周年变化

Fig. 3　The annual variation of the FAII in surf zone of Yangtze River estuary

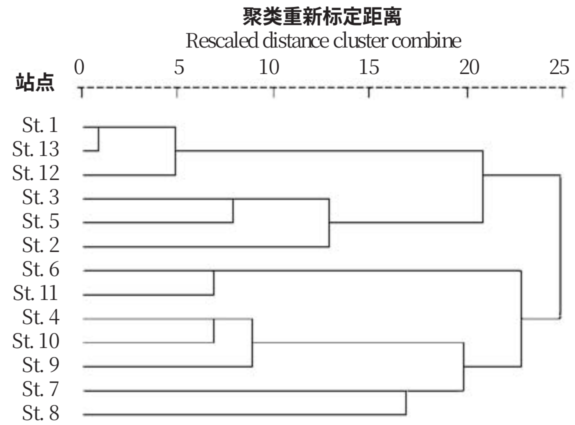


图 4　长江口沿岸碎波带 13 个站位点 FAII 的聚类分析图

Fig. 4　Cluster dendrogram of the 13 sampling stations based on the monthly FAII

3　讨论

3.1　鱼类完整性指数与鱼类资源管理

河口和近岸水域为多种海洋、河口和淡水鱼类提供了多种类型的栖息地,同时也是多种鱼类的理想产卵场和仔稚鱼保育场[22-25],而仔稚鱼阶段鱼类的存活率和健康状况将直接影响到成鱼资源的补充量。因此对仔稚鱼群落及其保育场健康状况的调查和评价对鱼类资源尤其是经济鱼类资源的管理和保护至关重要[26]。

近年来,随着对长江口南北两支及邻近海域调查的不断深入,许多学者发现这些水域均是很多海洋性和河口性鱼类的产卵场和仔稚鱼的保育场[27-33]。但对渔业环境评价的范围基本都局限在河口外海滨段和近海水域,且多以为理化指标为主[34-36]。对沿岸碎波带水域仔稚鱼的种类组成和数量分布虽已有初步调查[37-40],但其环境评价还是空白。因此,应用 FAII 对河流河口段及河口沿岸仔稚鱼保育场进行评价并在此基础上建立一套生物指数家族评价体系对于更加科学的管理和保护河口鱼类资源具有重要意义。

3.2 各站点的健康状况

由 FAII 值的时空分布(图 2)和系统聚类(图 4)的结果可知,长江沿岸的各站点中健康状况最好的为 St. 4,Sts. 9—10,最差的为 St. 1,Sts. 12—13。而鱼类群落的生物完整性与鱼类栖息水域沿岸的土地利用和植被保护状况有着密切的联系[20],Sts. 1—3,St. 5,Sts. 12—13 的周边多为风力发电,港口,滩涂围垦,跨海大桥,和旅游度假区建设,对水域环境有着严重的干扰,不利于对环境变化敏感的仔稚鱼的生存;而 St. 4,Sts. 9—10 分别位于饮用水源保护区和国家自然湿地公园外侧,为仔稚鱼提供了良好的栖息环境。

此外,仔稚鱼对盐度也有一定的选择性,很多洄游性鱼类在早期发育阶段为了觅食或逐步适应盐度梯度的变化等原因而聚集在低盐度水域,海洋性种类的仔稚鱼则偏向于聚集在较高盐度的水域[41]。但 St. 1,Sts. 12—13 这 3 个较高盐度的站点在周年调查中连续 5—7 个月未采集到样本,说明这些站点的水环境已经遭到了比较严重的破坏。

3.3 碎波带仔稚鱼 FAII 的季节性变化

FAII 的时空分布显示(图 2),各站点基本处于中等以下水平,而从年均值变化曲线看来甚至都处于差到极差的水平(图 3),只有少数站点在夏季达到中等水平。很多学者研究认为同一站点鱼类群落组成的季节性变化对 FAII 值不会影响或影响很小[42-44]。Deegan[7]则选择 7 月和 8 月作为 FAII 的最佳指示时期,因为这段时间在差和中等水平站点之间的鱼类群落差异最大也最稳定。然而,Kushlan[45],Ganasan 等[46]对同一站点不同季节采集鱼类个体进行了进一步的分析后指出单季采集的鱼类群落可能导致评价不准确。Lowe McConnell[47]认为当对大部分鱼类的生活史都不了解的情况下更应该在 1 年之中多次采样分析进行评价。

目前,对长江口仔稚鱼种类的生活史和影响其分布的各种环境因子还没有明确的了解,仔稚鱼的丰度和多样性均在夏季较高。St. 1,Sts. 12—13 这 3 个站点在夏季 FAII 值有大幅度提升,这可能由于春夏季为长江口多种鱼类的产卵季节,大多数河口性,海洋性和洄游种类仔稚鱼在夏季水温升高到适宜温度后季节性的短暂出现,从而导致 FAII 值的季节性升高[15,29],但这并不能反应这些站点整体的健康状况。因此,周年性的调查能更全面的反映河口仔稚鱼生境的健康状况。

此外,由于鱼类群落结构的稳定性降低和种群的小型化,健康状况差的生境鱼类完整性指数(FAII)随时间的波动也是最大的[7]。本文各站点聚类分析的结果亦与之相吻合。

3.4 FAII 与多样性指数

生物多样性指数是常用的水环境评价指数,其中浮游生物、底栖生物多样性指数等是经典的水环境评价指标[14]。近年来,也有学者利用鱼类多样性指数来对水质和水环境进行评价,发现鱼类多样性和各项环境理化参数有着很好的相关性[48]。

蒋日进等[10]在其对长江口仔稚鱼多样性指数的调查中发现各站点 Margalef 丰富度指数均值在 6—10 月相对较高,11—4 月较低;由于刀鲚的大量出现,使得 Shannon-Wiener 多样性指数在 6、7 月份偏低,8—10 月较高。而 FAII 值的周年变化(图 3)显示鱼类完整性指数 6—8 月较高,且在在 7 月达到明显的峰值,这与蒋的 Margalef 丰富度指数变化有一定的相似性,但与 Shannon-Wiener 多样性指数变化却有较大的差异。

Karr[2],Deegan[7]和 Hughes[42]也认为鱼类多样性指数在一定程度上可以对栖息地的健康等级做出正确的划分,但在区分一般和差等的生境时,生物完整性指数有着更好的敏锐性。

长江口碎波带作为多种鱼类在早期发育阶段的重要栖息地,关系到长江口一些重要经济鱼类资源的补充。而鱼类在早期发育阶段对环境变化比成鱼更加敏感,生境的污染和破坏将直接引起仔鱼的死亡率和亚致死效应增加,从而导致鱼类资源的数量和质量的下降[49-50]。

本研究的结果表明,长江口碎波带的鱼类完整性指数水平基本处在差到极差的水平,且周年波动性大,只有在夏季,其中几个站点能达到一般水平。这也从一定程度上说明了碎波带仔稚鱼的栖息地已遭到了一定程度的破坏。因此,在长江口沿岸进行开发和捕捞作业的同时,应当重视碎波带水域环境监测和保护,减少污染物倾倒和排放,恢复仔稚鱼栖息水域的生态健康,使成鱼体能够得到及时的补充从而实现渔业资源的可持续

利用。

致谢:本文得到台湾中兴大学林信辉教授和赖松庆老师,上海海洋大学宋佳坤教授及仔稚鱼研究室同仁对采样和论文写作给予的帮助,特此致谢。

References:

[1] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries, 1981, 6(6): 21-27.

[2] Karr J R, Fausch K D, Angermeier P L, Yant P R, Schlosser I J. Assessing Biological Integrity in Running Waters: A Method and Its Rationale. Chicago: Illinois Natural History Survey Special Publication, 1986.

[3] Fausch K D, Lyons J D, Angermeier P L, Karr J R. Fish communities as indicators of environmental degradation//Adams S M, ed. Biological Indicators of Stress in Fish. Bethesda: American Fisheries Society Symposium, 1990, 8(1): 123-144.

[4] Simon T P. Development of Index of Biotic Integrity Expectations for the Ecoregions of Indiana Ⅰ. Central Corn Belt Plain. Chicago: Environmental Protection Agency, 1991.

[5] Deegan L A, Finn J T, Ayvazian S G, Ryder C A. Feasibility and Application of the Index of Biotic Integrity to Massachusetts Estuaries (EBI). North Grafton: Massachusetts Executive Office of Environmental Affairs, Department of Environmental Protection, 1993.

[6] Deegan L A, Finn J T, Ayvazian S G, Ryder-Kieffer C A, Buonaccorsi J. Development and validation of an estuarine biotic integrity index. Estuaries and Coasts, 1997, 20(3): 601-617.

[7] Kleynhans C J. The development of a fish index to assess the biological integrity of South African rivers. Water SA, 1999, 25(3): 265-278.

[8] Liu M D, Chen D Q, Duan X B, Wang K, Liu S P. Assessment of ecosystem health of upper and middle Yangtze River using fish-index of biotic integrity. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(2): 1-10.

[9] Zhu D, Chang J B. Evaluation on temporal and spatial changes of biological integrity for shallow lakes in the middle reach of the Yangtze River. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12): 2761-2767.

[10] Wu H L, Zhong J S. Fauna Sinica. Ostichthyes Perciformes (V). Beijing: Science Press, 2008.

[11] Ni Y, Wu H L. Fishes of Jiangsu Province. Beijing: China Agriculture Press, 2006.

[12] East China Sea Fishery Research Institute Chinese Academy of Fishery Science, Shanghai Fishery Research Institute. Fishes of Shanghai. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1990.

[13] Koizumi Q M. Environmental Indicator Organism//Lu Q Z, Translated. Beijing: China Environmental Science Press, 1987.

[14] Zhang S Y, Wu Y M. The common fishes for a indicator of water quality in natura environment. Bulletin of Biology, 2005, 40(4): 25-27.

[15] Zhuang P, Wang Y H, Li S F, Deng S M, Li C S, Ni Y, Zhang L Z, Zhang T, Feng G P, Ling J Z. Fishes of Yangtze Estuary. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2006.

[16] Karr J R. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. Ecological Applications, 1991, 1(1): 66-84.

[17] Hughes J E, Deegan L A, Weaver M J, Costa J E. Regional application of an index of estuarine biotic integrity based on fish communities. Estuaries and Coasts, 2002, 25(2): 250-263.

[18] Pinto B C T, Araujo F G, Hughes R M. Effects of landscape and riparian condition on a fish index of biotic integrity in a large southeastern Brazil River. Hydrobiologia, 2006, 556(1): 69-83.

[19] Kesminas V, Virbickas T. Application of an adapted index of biotic integrity to rivers of Lithuania. Hydrobiologia, 2000, 422-423(0): 257-270.

[20] Lin X H, Cai Z W, Li M R. Establishment and application of index of biotic integrity — a case study in Tou-Bian-Keng Creek Watershed. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 39(1): 1-13.

[21] Liu L, Lin N, Zhong J S, Jiang R J, Zhang D L. Occurrences on the fish larvae of three warm water species in the surf zone of the Yangtze Estuary. Marine Fisheries, 2008, 30(1): 62-66.

[22] de Morais L T, Bodiou J Y. Predation on meiofauna by juvenile fish in a Western Mediterranean flatfish nursery ground. Marine Biology, 1984, 82(2): 209-215.

[23] Senta T, Kinoshita I. Larval and juvenile fishes occurring in surf zones of western Japan. Transactions of the American Fisheries Society, 1985, 114(4): 609-618.

[24] Kinoshita I. Ecological study on larvae and juveniles of sparine fishes occurring in surf zones of sandy beaches. Bulletin of Marine Sciences and Fisheries, Kochi University, 1993, 13(1): 21-99.

[25] Fujita S, Kinoshita I, Takahashi I, Azuma K. Species composition and seasonal occurrence of fish larvae and juveniles in the Shimanto Estuary, Japan. Fisheries Science, 2002, 68(2): 364-370.

[26] Carassou L, Ponton D. Spatio-temporal structure of pelagic larval and juvenile fish assemblages in coastal areas of New Caledonia, southwest

Pacific. Marine Biology, 2007, 150(4): 697-711.

[27] Wu G Z. The ecological characteristics of distribution of eggs, larvae and juveniles of the *Engeraulis japonicus* (Temminck & Schlegel) and *Anchoviella commersonii* (Leceped) in the Changjiang River estuary. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1989, 20(3): 217-229.

[28] Yang D L, Wu G Z, Sun J R. The investigation of pelagic eggs, larvae and juveniles of fishes at the mouth of the Changjiang River and adjacent areas. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1990, 21(4): 346-355.

[29] Huang J B, Zhang G X, Zhang X S, Li G B. The distribution of larva of *Hemisalanx prognathus* in the mouth of the Yangtze River and its main morphological characteristics. Marine Fisheries, 1992, 14(1): 10-17.

[30] Xu Z L, Yuan Q, Jiang M, Zang Z J. An investigation of fish eggs, larvae and juveniles in the Changjiang estuary. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(5): 63-64.

[31] Shan X J, Xian W W, Wu Y F. Dynamic changes in the ichthyoplankton community structure after the sluice of the Three-Gorges Dam. Periodical of Ocean University of China, 2005, 35(6): 936-940.

[32] Jiang M, Shen X Q. Abundance distributions of pelagic fish eggs and larva in the Changjiang River estuary and vicinity waters in summer. Marine Sciences, 2006, 30(6): 92-97.

[33] 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.

[34] Quan W M, Shen X Q. Research on present condition and change tendency of fisheries environmental quality in the Changjiang River estuary and adjacent East China Sea. Marine Fisheries, 2004, 26(2): 93-98.

[35] Shen X Q, Chao M. Comprehensive assessment for fisheries eco-environmental quality in Changjiang Estuary and its adjacent zones. Journal of Agro-Environment Science, 2005, 24(2): 270-273.

[36] Shen X Q, Chao M. Comprehensive eco-environment assessments of three Chinese fishery waters. Marine Fisheries Research, 2005, 26(3): 68-72.

[37] Jiang R J, Zhong J S, Zhang D L, Fu C Z. Species composition and diversity of fish larvae and juveniles in the surf zone of the Yangtze River estuary. Zoological Research, 2008, 29(3): 297-304.

[38] Zhong J S, Fu C Z, Yu W W, Wu M Q, Zhang Z P, Gong X L, Hu F. Occurrence and stay period of the juvenile *Liza haematocheila* in the surf zone of Yangtze Estuary. Journal of Shanghai Fisheries University, 2006, 15(3): 281-285.

[39] Zhong J S, Yu W W, Liu B L, Gong X L, Bo H J, Hu F, Ding F Y. Seasonal occurrences of fish larvae and juveniles in the surf zone of the Yangtze River estuary. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(4): 375-382.

[40] Zhong J S, Wu M Q, Lian Q P. Composition of fish larvae and juveniles in spring and summer in surf zone of Yangtze River estuary. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(3): 436-443.

[41] Marin Jarrin J R, Shanks A L, Banks M A. Confirmation of the presence and use of sandy beach surf-zones by juvenile Chinook salmon. Environmental Biology of Fishes, 2009, 85(2): 119-125.

[42] Hughes R M, Kaufmann P R, Herlihy A T, Kincaid T M, Reynolds L, Larsen D P. A process for developing and evaluating indices of fish assemblage integrity. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1998, 55(1): 1618-1631.

[43] McCormick F H, Hughes R M, Kaufman P R, Peck D V, Stoddard J L, Herlihy A T. Development of an index of biotic integrity for the Mid-Atlantic Highlands region. Transactions of the American Fisheries Society, 2001, 130(5): 857-877.

[44] Bozzetti M, Schulz U H. An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil. Hydrobiologia, 2004, 529 (1/3): 133-144.

[45] Kushlan J A. Environmental stability and fish community diversity. Ecology, 1976, 57(4): 821-825.

[46] Ganasan V, Hughes R M. Application of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra (Madhya Pradesh), India. Freshwater Biology, 1998, 40(2): 367-383.

[47] Lowe-McConnell R H. Ecological Studies in Tropical Fish Communities. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

[48] Shahnawaz A, Venkateshwarlu M, Somashekar D S, Santosh K. Fish diversity with relation to water quality of Bhadra River of Western Ghats (INDIA). Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 161(1/4): 83-91.

[49] Gray C A, Otway N M, Laurenson E A, Miskiewicz A G, Pethebridge R L. Distribution and abundance of marine fish larvae in relation to effluent plumes from sewage outfalls and depth of water. Marine Biology, 1992, 113(4): 549-559.

[50] Wanzenböck J, Gassner H, Lahnsteiner B, Hassan Y, Hauseder G, Doblander C, Köck G. Ecological integrity assessment of lakes using fish communities: an example from Traunsee exposed to intensive fishing and to effluents from the soda industry. Water, Air, and Soil Pollution, 2002, 2(4): 227-248.

参考文献:

[8] 刘明典, 陈大庆, 段辛斌, 王珂, 刘绍平. 应用鱼类生物完整性指数评价长江中上游健康状况. 长江科学院院报, 2010, 27(2): 1-10.

[9] 朱迪, 常剑波. 长江中游浅水湖泊生物完整性时空变化. 生态学报, 2004, 24(12): 2761-2767.

[10] 伍汉霖, 钟俊生. 中国动物志. 硬骨鱼纲鲈形目（五）. 北京: 科学出版社, 2008.

[11] 倪勇, 伍汉霖. 江苏鱼类志. 北京: 中国农业出版社, 2006.

[12] 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海市水产研究所. 上海鱼类志. 上海: 科学技术出版社, 1990.

[13] 小泉清明. 环境和指示生物（水域分册）//卢全章, 译. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.

[14] 张世义, 伍玉明. 水环境质量的常见指示鱼类. 生物学通报, 2005, 40(4): 25-27.

[15] 庄平, 王幼槐, 李圣法, 邓思明, 李长松, 倪勇, 章龙珍, 张涛, 冯广朋, 凌建忠. 长江口鱼类. 上海: 科学技术出版社, 2006.

[20] 林信辉, 蔡志伟, 李明儒. 生物整合指数之建立与应用——以头汴坑溪集水区为例. 水土保持学报, 2007, 39(1): 1-13.

[21] 刘磊, 林楠, 钟俊生, 蒋日进, 张冬良. 长江口沿岸碎波带三种暖水性鱼类仔鱼的出现. 海洋渔业, 2008, 30 (1): 62-66.

[27] 吴光宗. 长江口海区的鳀鱼和康氏小公鱼鱼卵和仔、稚鱼分布的生态特征. 海洋与湖沼, 1989, 20(3): 217-229.

[28] 杨东莱, 吴光宗, 孙继仁. 长江口及其邻近海区的浮性鱼卵和仔稚鱼的生态研究. 海洋与湖沼, 1990, 21(4): 346-355.

[29] 黄晋彪, 张国祥, 张雪生, 李根宝. 长江口前颌间银鱼仔鱼的分布及其主要形态特征. 海洋渔业, 1992, 14(1): 10-17.

[30] 徐兆礼, 袁骐, 蒋玫, 藏增加. 长江口鱼卵和仔、稚鱼的初步调查. 中国水产科学, 1999, 6(5): 63-64.

[31] 单秀娟, 线薇薇, 武云飞. 三峡工程蓄水前后秋季长江口鱼类浮游生物群落结构的动态变化初探. 中国海洋大学学报, 2005, 35(6): 936-940.

[32] 蒋玫, 沈新强. 长江口及邻近水域夏季鱼卵、仔鱼数量分布特征. 海洋科学, 2006, 30(6): 92-97.

[34] 全为民, 沈新强. 长江口及邻近水域渔业环境质量的现状及变化趋势研究. 海洋渔业, 2004, 26(2): 93-98.

[35] 沈新强, 晁敏. 长江口及邻近渔业水域生态环境质量综合评价. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 270-273.

[36] 沈新强, 晁敏. 对中国 3 个渔业水域生态环境质量的综合评价. 海洋水产研究, 2005, 26(3): 68-72.

[37] 蒋日进, 钟俊生, 张冬良, 傅萃长. 长江口沿岸碎波带仔稚鱼的种类组成及其多样性特征. 动物学研究, 2008, 29(3): 297-304.

[38] 钟俊生, 傅萃长, 郁蔚文, 吴美琴, 张增频, 龚小玲, 胡芬. 鲮鱼稚鱼在沿岸碎波带的出现和滞留时间. 上海水产大学学报, 2006, 15(3): 281-285.

[39] 钟俊生, 郁蔚文, 刘必林, 龚小玲, 薄欢军, 胡芬, 丁峰元. 长江口沿岸碎波带仔稚鱼种类组成和季节性变化. 上海水产大学学报, 2005, 14(4): 375-382.

[40] 钟俊生, 吴美琴, 练青平. 春、夏季长江口沿岸碎波带仔稚鱼的种类组成. 中国水产科学, 2007, 14(3): 436-443.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31, No.16 August, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

A comparative study on the diversity of rhizospheric bacteria community structure in constructed wetland and natural wetland with reed domination ······ WANG Zhongqiong, WANG Weidong, ZHU Guibing, et al (4489)

Light response of photosynthesisand its simulation in leaves of *Prunus sibirica* L. under different soil water conditions ······ LANG Ying, ZHANG Guangcan, ZHANG Zhengkun, et al (4499)

Effects of colour shading on the yield and main biochemical components of summer-autumn tea and spring tea in a hilly tea field ······ QIN Zhimin, FU Xiaoqing, XIAO Runlin, et al (4509)

Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves ······ WU Kun, WU Zhonghong, TAI Fuju, et al (4517)

Comparative physiological responses of cadmium stress on *Enteromorpha clathrata* and *Enteromorpha linza* ······ JIANG Heping, ZHENG Qingsong, ZHU Ming, et al (4525)

Effects of salt stress onglucosinolate contents in *Arabidopsis thaliana* and *Thellungiella halophila* rosette leaves ······ PANG Qiuying, CHEN Sixue, YU Tao, et al (4534)

Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field ······ GAO Jusheng, CAO Weidong, LI Dongchu, et al (4542)

Nitrogen balance in the farmland system based on water balance in Hetao irrigation district, Inner Mongolia ······ DU Jun, YANG Peiling, LI Yunkai, et al (4549)

Seed characteristics and seedling growth of *Spartina alterniflora* on coastal wetland of North Jiangsu ······ XU Weiwei, WANG Guoxiang, LIU Jin'e, et al (4560)

Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model ······ TIAN Yaowu, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa (4568)

Effects of Cadmium pollution on oxidative stress and metallothionein content in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) in different habitats ······ ZHANG Zhengtian, PANG Zhenling, XIA Min, et al (4579)

The distribution of size-fractionated chlorophyll a in the Indian Ocean South Equatorial Current ······ ZHOU Yadong, WANG Chunsheng, WANG Xiaogu, et al (4586)

Change of waterbird community structure after the intertidal mudflat reclamation in theYangtze River Mouth: a case study of NanHui Dongtan area ······ ZHANG Bin, YUAN Xiao, PEI Enle, et al (4599)

Application of fish assemblage integrity index(FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary ······ MAO Chengze, ZHONG Junsheng, JIANG Rijin, et al (4609)

Population age structure of Antarctic krill *Euphausia superba* off the northern Antarctic Peninsula based on fishery survey ······ ZHU Guoping, WU Qiang, FENG Chunlei, et al (4620)

Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province ······ MO Zhihong, FENG Liping, ZOU Haiping, et al (4628)

Coupled energy and carbon balance analysis under dryland tillage systems ······ WANG Xiaobin, WANG Yan, DAI Kuai, et al (4638)

The nitrate-nitrogen leachingamount in paddy winter-spring fallow period ······ WANG Yongsheng, YANG Shiqi (4653)

The sources of organic carbon and nitrogen in sediment of Taihu Lake ······ NI Zhaokui, LI Yuejin, WANG Shengrui, et al (4661)

Effect of partial solar eclipse on airborneculturable bacterial community in Urumqi ······ MA Jing, SUN Jian, ZHANG Tao, et al (4671)

Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in *Laodelphax striatellus* (Fallen) and *Nilaparvata lugens* (Stål) ······ LÜ Jin, CAO Tingting, WANG Liping, et al (4680)

Behavior rhythm and seasonal variation of time budget of sun bear (*Helarctos malayanus*) in captivity ······ LAN Cunzi, LIU Zhensheng, WANG Aishan, et al (4689)

Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River ······ HAN Lu, WANG Haizhen, CHEN Jiali, et al (4699)

Death causes and conservation strategies of the annual regenerated seedlings of rare plant, *Bretschneidera sinensis* ······ QIAO Qi, QIN Xinsheng, XING Fuwu, et al (4709)

Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress ······ DUO Lian, WANG Jingjing, ZHAO Shulan (4717)

Spatiotemporal relationship of leaf area index simulated by CLM3.0-DGVM and climatic factors ······ SHAO Pu, ZENG Xiaodong (4725)

Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency ······ HAN Ruiling, TONG Lianjun, SONG Yanan (4732)

Review and Monograph

The fungal to bacterial ratio in soil food webs, and its measurement ······ CAO Zhiping, LI Depeng, HAN Xuemei (4741)

Indicators for evaluating sustainable communities: a review ······ ZHOU Chuanbin, DAI Xin, WANG Rusong, et al (4749)

Discussion

Differential expression of *PAL* multigene family in allelopathic rice and its counterpart exposed to stressful conditions ······ FANG Changxun, WANG Qingshui, YU Yan, et al (4760)

Scientific Note

Ecology study on the benthic animals of QinZhou Bay ······ WANG Di, CHEN Pimao, MA Yuan (4768)

Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration ······ DONG Kaikai, WANG Hui, YANG Liyuan, et al (4778)

Estimation and spatial pattern analysis of forest biomass in Fenglin Nature Reserve based on Geostatistics ······ LIU Xiaomei, BU Rencang, DENG Huawei, et al (4783)

Study on sap flow in forest of *Quercus liaotungensis* and *Populus davidiana* by using the TDP method ······ SUI Xuhong, ZHANG Jianjun, WEN Wanrong (4791)

N_2O Emission and its driving factors from typical marsh and shrub swamp in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China ······ SHI Lanying, MU Changcheng, TIAN Xinmin, et al (4799)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

（源于 2010 年版 CSTPCD 数据库）

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	**生态学报**	**11764**	1	**生态学报**	**1.812**
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次，**全国排名第 1**；影响因子 1.812，**全国排名第 14**；第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊；中国精品科技期刊

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 31 卷　第 16 期　（2011 年 8 月）

ACTA ECOLOGICA SINICA
（Semimonthly, Started in 1981）
Vol. 31　No. 16　2011

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
主　　编　冯宗炜
主　　管　中国科学技术协会
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
出　　版　科　学　出　版　社
地址：北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
印　　刷　北京北林印刷厂
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
订　　购　全国各地邮局
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
广告经营许可证　京海工商广字第 8013 号

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
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add：18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by Science Press
Add：16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing　100717, China
Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China
Distributed by Science Press
Add：16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel：（010）64034563
E-mail：journal@cspg.net
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add：P. O. Box 399 Beijing 100044, China

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