

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第15期 Vol.32 No.15 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 15 期

2012 年 8 月 (半月刊)

目次

放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型凋落物分解的影响.....	张艳博, 罗 鹏, 孙 庚, 等 (4605)
北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素.....	王苏铭, 张 楠, 于琳倩, 等 (4618)
温带混交林碳水通量模拟及其对冠层分层方式的响应——耦合的气孔导度-光合作用-能量平衡模型	施婷婷, 高玉芳, 袁凤辉, 等 (4630)
洞庭湖景观格局变化及其对水文调蓄功能的影响	刘 娜, 王克林, 段亚锋 (4641)
大辽河口水环境污染生态风险评估.....	于 格, 陈 静, 张学庆, 等 (4651)
标准化方法筛选参照点构建大型底栖动物生物完整性指数	渠晓东, 刘志刚, 张 远 (4661)
不同年龄段大连群体菲律宾蛤仔 EST-SSR 多样性	虞志飞, 闫喜武, 张跃环, 等 (4673)
基于地统计分析西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间异质性	杨晓明, 戴小杰, 朱国平 (4682)
广东罗坑自然保护区鳄蜥生境选择的季节性差异.....	武正军, 戴冬亮, 宁加佳, 等 (4691)
甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质.....	魏 强, 凌 雷, 柴春山, 等 (4700)
短轮伐期毛白杨不同密度林分土壤有机碳和全氮动态.....	赵雪梅, 孙向阳, 康向阳, 等 (4714)
放牧对呼伦贝尔草地植物和土壤生态化学计量学特征的影响.....	丁小慧, 官 立, 王东波, 等 (4722)
UV-B 辐射增强对抗除草剂转基因水稻 CH ₄ 排放的影响	娄运生, 周文麟 (4731)
基于核磁共振波谱的盐芥盐胁迫代谢组学分析.....	王新宇, 王丽华, 于 萍, 等 (4737)
广西甘蔗根际高效联合固氮菌的筛选及鉴定.....	胡春锦, 林 丽, 史国英, 等 (4745)
不同稻蟹生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响.....	安 辉, 刘鸣达, 王耀晶, 等 (4753)
大兴安岭火烧迹地恢复初期土壤微生物群落特征.....	白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等 (4762)
川西北冷杉林恢复过程中土壤动物群落动态.....	崔丽巍, 刘世荣, 刘兴良, 等 (4772)
内生真菌角担子菌 B6 对连作西瓜土壤尖孢镰刀菌的影响	肖 逸, 戴传超, 王兴祥, 等 (4784)
西江颗粒直链藻种群生态特征.....	王 超, 赖子尼, 李跃飞, 等 (4793)
大型人工湿地生态可持续性评价.....	张依然, 王仁卿, 张 建, 等 (4803)
孢粉、炭屑揭示的黔西高原 MIS3b 期间古植被、古气候演变	赵增友, 袁道先, 石胜强, 等 (4811)
树干径流对梭梭“肥岛”和“盐岛”效应的作用机制	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (4819)
豆科作物-小麦轮作方式下旱地小麦花后干物质及养分累积、转移与产量的关系	杨 宁, 赵护兵, 王朝辉, 等 (4827)
一次陆源降雨污水引起血红哈卡藻赤潮的成因.....	刘义豪, 宋秀凯, 靳 洋, 等 (4836)
盐城国家级自然保护区景观格局变化及其驱动力.....	王艳芳, 沈永明 (4844)
城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析——以深圳市福田区为例.....	邵天然, 李超骥, 曾 辉 (4852)
黄河三角洲区域生态经济系统动态耦合过程及趋势.....	王介勇, 吴建寨 (4861)
重庆市生态功能区蝴蝶多样性参数	李爱民, 邓合黎, 马 琦 (4869)
专论与综述	
干旱半干旱区不同环境因素对土壤呼吸影响研究进展.....	王新源, 李玉霖, 赵学勇, 等 (4890)
土壤呼吸的温度敏感性——全球变暖正负反馈的不确定因素.....	栾军伟, 刘世荣 (4902)
森林土壤甲烷吸收的主控因子及其对增氮的响应研究进展.....	程淑兰, 方华军, 于贵瑞, 等 (4914)
湖泊氮素氧化及脱氮过程研究进展	范俊楠, 赵建伟, 朱端卫 (4924)
研究简报	
刈割对人工湿地风车草生长及污水净化效果的影响.....	吕改云, 何怀东, 杨丹菁, 等 (4932)
学术信息与动态	
全球气候变化与粮食安全——2012 年 Planet Under Pressure 国际会议述评	安艺明, 赵文武 (4940)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-08



封面图说: 水杉是中国特有种, 国家一级保护植物, 有植物王国“活化石”之称, 是 1946 年由中国的植物学家在湖北的利川磨刀溪发现的。水杉曾广泛分布于北半球, 第四纪冰期以后, 水杉属的其他种类全部灭绝, 水杉确在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存, 成为旷世奇珍。水杉耐水, 适应力强, 生长极为迅速, 其树干通直挺拔, 高大秀颀, 树冠呈圆锥形, 姿态优美, 枝叶繁茂, 入秋后叶色金黄。自发现后被人们在中国南方广泛种植, 成为著名的绿化观赏植物, 现在中国水杉的子孙已遍及中国和世界 50 多个国家和地区。

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

DOI: 10.5846/stxb201112011840

杨晓明,戴小杰,朱国平. 基于地统计分析西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间异质性. 生态学报, 2012, 32(15): 4682-4690.

Yang X M, Dai X J, Zhu G P. Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) purse seine catch in the western Indian Ocean. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4682-4690.

基于地统计分析西印度洋黄鳍金枪鱼 围网渔获量的空间异质性

杨晓明^{1,2,3}, 戴小杰^{1,2,3,*}, 朱国平^{1,2,3}

(1. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海海洋大学, 上海 201306; 3. 国家远洋渔业工程技术中心, 上海 201306)

摘要:西印度洋公海海域是世界上围网黄鳍金枪鱼渔业的主要作业海域之一, 根据印度洋金枪鱼委员会 1999—2004 年的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的各月黄鳍金枪鱼围网渔获量统计数据, 采用地统计方法探索该海域黄鳍金枪鱼渔获量的空间异质性特征及其相关生态动力过程。进行了如下分析: (1) 利用 GIS 制图观察渔获量的时空分布特征, 发现其空间格局的变异受到的季节变化和年际变化共同影响, 且前者明显强于后者。 (2) 采用地统计方法计算各月渔获量的空间异质性参数, 并按照年际和季节情况分别进行了统计分析, 发现渔获量的地统计参数值和变异函数模型有明显的季节和年际差异; 渔获量的空间相关距离 (变程) 平均在 1000nm 左右, 冬季要小于夏季; 渔获量的空间变异函数模型主要为相关距离较大且空间依赖性较弱的指数模型; 渔获量的空间结构方差比例 (平均为 65.82%) 远大于随机性方差比例 (平均为 34.18%); 渔获量在 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 尺度下具有明显的空间自相关性。 (3) 对地统计参数值和渔获量的相关关系研究, 并探讨季节变化下渔获量的空间异质性特征与相关生态动力过程关系, 发现各月渔获量随着空间总变异 (基台值) 增加而增加, 两者存在强相关性; 各月渔获量和南北和西北-东南向分维数值有一定相关性, 意味着海洋动力过程在南北和西北-东南向过程越强, 渔获量越低。西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间变异原因在于季风气候和 ENSO 循环过程引起的海洋流场、营养盐和温跃层等变化外在因素, 以及围网捕捞方式和鱼类的行为方式的内在因素共同导致的。

关键词: 黄鳍金枪鱼; 围网; 地统计分析; 西印度洋

Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) purse seine catch in the western Indian Ocean

YANG Xiaoming^{1,2,3}, DAI Xiaojie^{1,2,3,*}, ZHU Guoping^{1,2,3}

1 The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources (Shanghai Ocean University), Ministry of Education, Shanghai 201306, China

2 Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

3 National Distant-water Fisheries Engineering Research Center (Shanghai Ocean University), Shanghai 201306, China

Abstract: Our objective was to assess which environmental factors explain the variation in the distribution and abundance of fishery stocks. We used a novel approach, applying geostatistical tools to explain the spatial heterogeneity of purse seine yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) catch in the western Indian Ocean. Geostatistical tools enable researchers to develop a more thorough understanding of the mechanisms controlling the spatial variation in fishery stocks. In addition, this tool is

基金项目: 国家“863”计划项目 (2007AA092202); 国家自然科学基金项目 (41006106); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金新教师基金项目 (20093104120005); 上海市青年科技启明星计划项目 (11QA1403000); 上海市重点学科建设项目 (S30702); 上海市教委创新项目 (09YZ275) 共同资助

收稿日期: 2011-12-01; 修订日期: 2012-05-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xjdai@shou.edu.cn

able to deal with complex correlations between spatial patterns and fishery harvest. The western Indian Ocean is one of the most productive purse seine yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) fisheries in the world. We evaluated the variation in the spatial distribution of catch using geostatistical methods. In addition, we discuss the dynamic ecological processes influencing the spatial heterogeneity of catch. We used records of purse seine harvest of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) collected by the Indian Ocean Tuna Commission (IOTC). The data were summarized by month for $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ areas between 1999—2004. We found that the spatial distribution of catch varied both between seasons and inter-annuals, but was largest between seasons. We obtained the semivariograms parameters and best-fitting semivariogram models from seine yellowfin tuna catch using geostatistical methods. We observed significant seasonal and inter-annual differences in the semivariogram parameters and the semivariogram models of spatial distribution of catch. The average spatial correlation distance (the ranges in geostatistical) was 1000 nautical miles and the values were smaller in winter than in summer. The best-fitting semivariogram models were primarily exponential and had a longer spatial corresponding distance and lower spatial dependence than other models. The spatial structural variance (mean value was 65.82% of total variance) was significantly higher than the random variance (mean value was 34.18% of total variance). We found that the spatial structure of catch had high spatial autocorrelation at $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ areas scale. We investigated the relationship between the semivariogram parameter values and the catch of purse seine yellowfin tuna and attempted to explain the ecological dynamic processes explaining the spatial heterogeneity in catch. We found a strong, positive linear correlation between monthly catch and the sum of spatial variances (sill values), with a correlation coefficient of 0.930 ($P < 0.001$). The monthly catch was also correlated to the south-northward (correlation coefficient = 0.5055, $P < 0.1$) and northwest-southeastward fractal dimension values, suggesting that catch was positively correlated with marine dynamic processes oriented in these two directions. Thus, catch decreased when the environmental process components intensified in these two directions. In summary, a number of external factors contribute to the spatial variation in yellowfin tuna catch in the western Indian Ocean, including marine currents, nutrients, and the thickness of the thermocline, which are influenced by the monsoonal climate and ENSO episodes. In addition, we identified internal factors such as the purse seine fishing methods and fish behavior that also affected the spatial distribution of harvest. Our results suggest that several environmental factors can be used to predict changes in the catch of purse seine yellowfin tuna in the western Indian Ocean. These included seasonal indices, which had a significant influence in the spatial distribution model; ENSO episodes; and the optimal semivariogram model. The selection of environmental factors for the yellowfin tuna stock assessment model should include consideration of vector meridian variables that influence marine environmental processes, such as ocean currents or wind fields.

Key Words: *Thunnus albacares*; purse seine; geostatistical analysis; western Indian Ocean

过去 50 a 中,印度洋黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)产量持续增长,2003—2006 年产量占全球黄鳍金枪鱼产量约 30% 左右,其中约 42% 来自围网渔业^[1-2],而且高产区主要分布于印度洋西部。围网主要围捕分布比较密集的金枪鱼鱼种,如黄鳍金枪鱼和鲐^[3-4]。

空间异质性是产生空间景观格局的主要因素,是指某种生态学变量在空间分布上的不均匀性及复杂程度,是生态系统的主要属性之一^[5-9]。地统计方法是以区域化变异理论为基础分析自然现象空间变异和空间相关的统计学,在生态学中的应用被证明是一个有效的描述空间数据的方法。该方法在海洋渔业生态领域国内外已经有一些应用成果:如估计鱼类资源丰度^[10]、渔业调查和资源评估应用和分析^[11]、CPUE 数据标准化^[12]和鱼类资源的空间异质性研究^[13-16]。

本文利用地统计方法对西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间格局特征在季节变化下的空间变异性进行研究,分析其产生的环境生态反馈机制,从而增强了解其空间格局的生态过程响应规律,并为印度洋黄鳍金枪鱼资源的可持续利用和渔业管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料来源

印度洋黄鳍金枪鱼围网数据来自印度洋金枪鱼委员会(IOTC, Indian Ocean Tuna Commission)的统计数据库(<http://www.iotc.org>)。该资料主要以经纬度 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 为统计单位,记录了包括印度洋海域作业各国船队的分月作业实况,包括年、月、作业区域、分品种产量以及捕捞努力和作业方式等信息,本文选取了的时间自1999年1月至2004年12月数据。温度时间序列数据源于美国国家海洋与大气局(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)气候预报中心(CPC, Climate Prediction Center)提供的同期对应月份的 Niño3.4 区的月平均海表温度距平(SSTA, Sea Surface Temperature Anomaly)序列(<http://www.cpc.noaa.gov>)。

1.2 数据处理

IOTC 数据中几个主要捕捞国家和地区的捕捞努力量采用无法统一的单位,同时围网作业方式具有较高空间分辨率,本文采用围网的渔获量作为研究对象。

考虑到黄鳍金枪鱼围网作业空间分布的连续性,本文分析区域选择黄鳍金枪鱼渔业的主要传统渔场所在的空间区域(18°N — 10°S , 40°E — 75°E)之间,对于空间距离的计算,本文参见文献的方法^[7],即各个网格均以中心点经纬度坐标为采样点坐标,纬度不变,经度坐标值根据该点的纬度值进行转换后获得新的坐标值,具体公式如下:

$$x_{\text{Long_New}} = \cos(y_{\text{Lat_Old}} \times \pi/180) \times x_{\text{Long_Old}}$$

式中, $x_{\text{Long_New}}$ 转换后的经度值, $x_{\text{Long_Old}}$ 和 $y_{\text{Lat_Old}}$ 为变换前的经度和纬度值。

1.3 地统计方法

运用地统计学分析步骤:(1)对渔获量数据用单样本 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 检验进行正态分布检验,由于不符合要求,对其进行对数转换达到地统计分析要求;(2)对数转换后数据进行变异函数的计算、定义和检验。

地统计的基本原理和方法可以参考许多文献中的比较详细描述^[5-9]。在地统计学中,变量 Z 是一个区域化变量,变量 Z 的空间异质性可分解为空间自相关部分和随机变异两部分,可通过变异函数的分解定量化^[6,8]。

2 结果

2.1 西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间分布特征

空间格局表示种群个体在空间相对静止的分布型式。它揭示了种群个体某时刻的行为习性和环境因子的迭加影响^[8],本文绘制了各月黄鳍金枪鱼围网渔获量的时空分布图。其中1月份和8月份的分布图见图1。发现年份和月份不同,空间格局分布类型,集聚强度和纹理特征都存在差异。1月份,空间集聚强度较强,空间分布类型具有集群型特征;8月份空间集聚强度较弱,分布类型中随机部分更强。纹理特征上,1月份主要分布呈现东西向水平分布特征,主要集中在 5°S 左右。8月份主要分布呈现东北-西南向分布特征,相对于1月份,空间分布整体向西向北移动。总体上看,分布范围存在季节性摆动,冬季向南,夏季向北;空间格局受到季节变化和年际变化共同作用,且季节变化对空间格局的影响要明显强于年际变化。

2.2 空间分布格局的地统计特征

对于空间分布格局,地统计方法是利用样点之间空间距离和变量差异关系,将空间分布特征从另一个角度定量地进行了描述,从而获得一些具有生态意义的指标值。对72个月黄鳍金枪鱼渔获量变异函数理论模型得到相应参数。

(1) 变异函数模型

根据地统计学原理,空间变异函数模型表示空间分布的总体特征类型,在生态学中不同函数模型可以反映物种对环境背景的适应性特征的反应。其中指数模型意味变量相关性距离较大,聚集程度相对较弱;高斯模型表示个体在中间特定区间空间相关性大,而前后阶段都较弱;球状模型表示个体间的聚集性较强,空间相

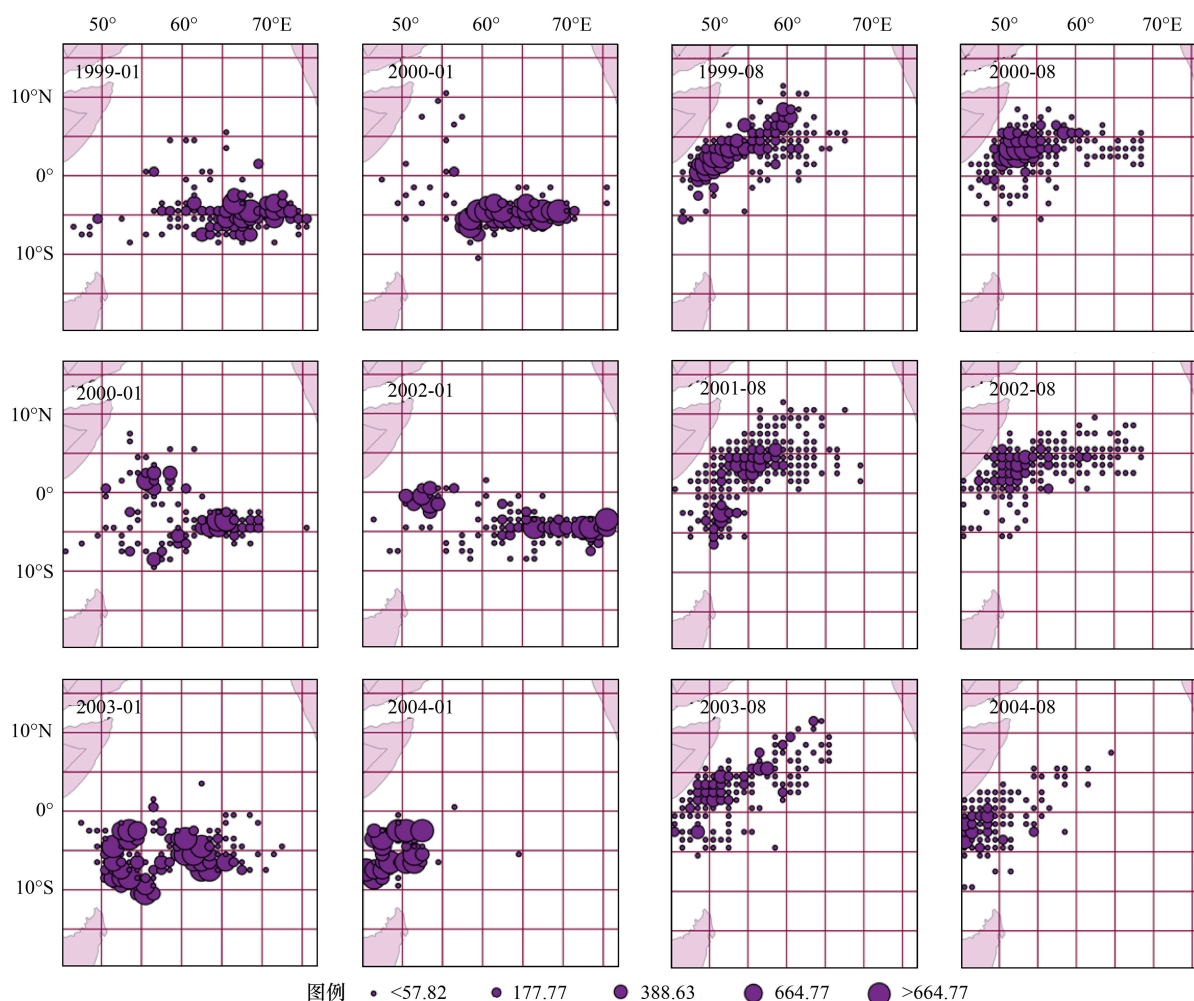


图1 1999—2004年1月和8月份黄鳍金枪鱼围网渔获量空间分布

Fig. 1 The spatial distribution of catch for yellowfin tuna purse seine in January and August from 1999 to 2004

关距离较小。

从月份来看分布模型(图2)有几个特征:指数模型主要出现在11月和3月份;高斯模型主要出现在1月份;而球形模型2、4、5和6月份出现比例都高于50%;7—10月份,3种模型比例较为稳定。根据 ENSO (El Niño/La Niña-Southern Oscillation) 周期将月份分为厄尔尼诺、拉尼娜和正常3种类型,从图3中发现:在正常月份和厄尔尼诺月份指数模型出现次数最多,正常年份中指数模型出现比例超过一半;在拉尼娜月份,球状模型比例明显增加;在厄尔尼诺月份,高斯模型比例有所增加。

(2) 变异函数各参数特征

基台值即全部样点的总变异,其变化幅度 1.49—3.641,并表现出明显的季节和大气背景的变化,这种变化源自于气候变化和季节变化背景下产生的温度、营养盐和海流等因子变化和一些随机因素。从图4中的中间值发现:1月份基台值最高,其次为相邻的12月份

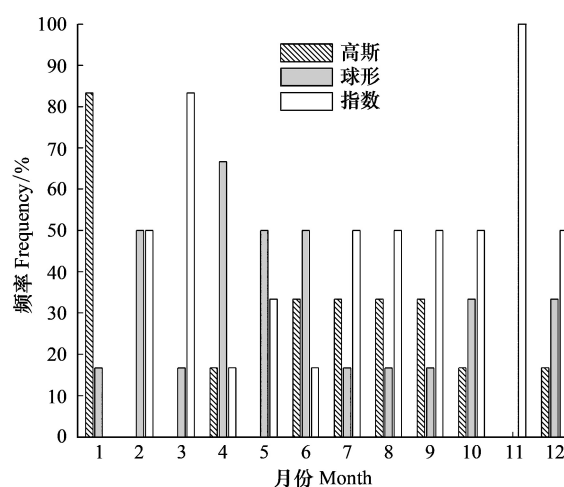


图2 各月渔获量空间变异函数模型的频次分布

Fig. 2 The monthly frequency histograms of spatial variation function model of catch

和2月份。块金值(随机误差)表示由实验误差或小于实验取样尺度引起的变异,较大的块金值说明在该尺度下存在着重要的生态过程。从图4中可发现,块金值中间值6月和12月份较高,其它月份相差较小。空间异质性由随机性和结构性引起。空间变异系数值表示随机性比例。结构性变异占总体变异比例多年平均为74.68%。从图4A中,中间值看,结构性因素占空间异质性的50%以上,处于主导地位。1月份空间结构性最强,空间变异系数中间值15%左右,6—7月份和11—12月份空间结构性最弱,空间变异系数中间值大约为40%。从箱式图可以发现,在1—3月份空间变异系数年际差异大。说明了在结构性上的年际变化主要体现在1—3月和6月份,其它月份相对较小。

变程 a 表示当两点间的间隔 $h < a$,两点处的个体是相互影响的;反之则无相互影响,表示空间相关性消失。

从各月中间情况看,相关距离在1000 nm左右,12—3月份相关距离在600 nm以内。从年际变化看,10月和11年年际变化大,其它月份较小。

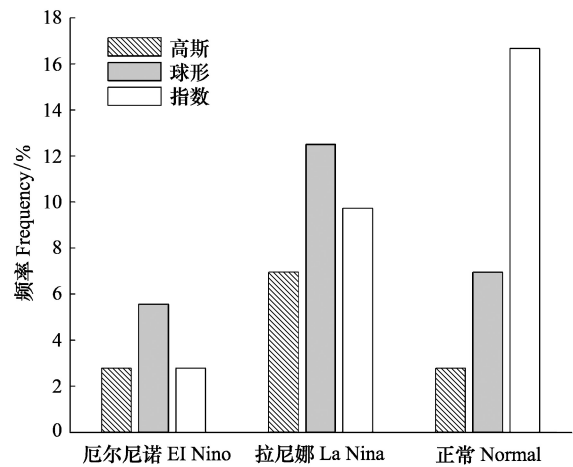


图3 ENSO周期下渔获量空间变异函数的频次分布

Fig. 3 The frequency histograms of spatial variation function model of catch in ENSO cycle

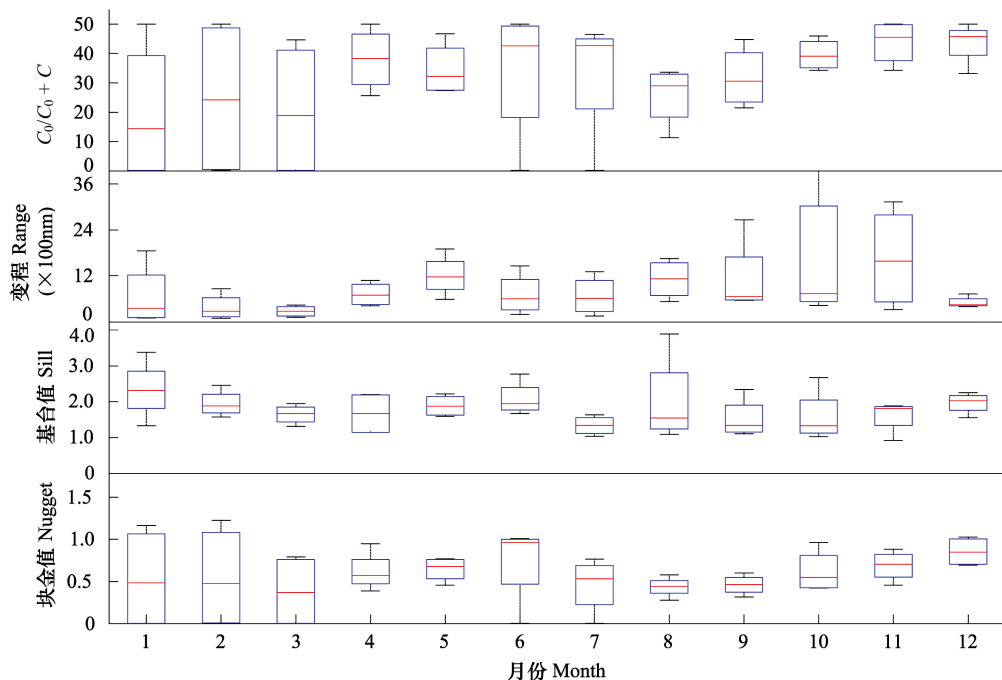


图4 各月地统计参数的箱式图

Fig. 4 The monthly box-plot of geostatistical parameters

箱中间横线表示中值,箱高度可表示年际变化程度

2.3 西印度洋黄鳍金枪鱼渔获量的方向异质性特征

本文分别计算各月渔获量空间分布的分维数。分维数是一个无量纲数,数值介于1—2之间,反映空间异质性程度的度量,数值越小表示这个方向相关性越强,该方向上生态过程影响也明显^[17]。以正北方向为0°,按照顺时针方向增加。

从图5中可以看出各向差异上,分维值在2、6和10月份空间的方向性差异最小,而7、8和9月份差异较

大。东南-西北方向($N135^\circ$)上,在7—9月份表现非常强烈的空间相关性,渔获量在此方向的相关性远强于其他方向。南北向($N0^\circ$)和东西向($N90^\circ$)上,在3月份南北向相关性最弱,东西向相关性最强(值最小)。在各向同性(ISO)的情况下,在5—9月份空间异质性较强。

2.4 渔获量与地统计参数关系

对比各月地统计参数平均值和渔获量均值,只有基台值和渔获量具显著性统计相关性,结果见图6。统计检验表明两者相关系数 R 为 0.930,通过显著性检验(置信度 P 为 0.0001172)。可见两者具有较高一致性,渔获量越高基台值也越高,可以解释为当渔获量增加时,在所有对应样点中,差异也就越大,基台值也就高。

对比各月各向分维数 D 与平均渔获量关系,统计检验表明,只有南北($N0^\circ$)向的分维值和渔获量通过显著性统计相关性。两者的相关系数 0.5055,通过显著性检验(置信度 P 值为 0.09366),结果见图6。图中可

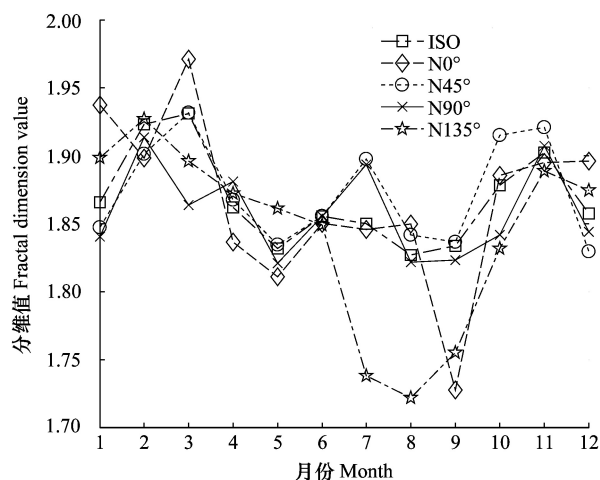


图5 各月份渔获量在各方向上分维值

Fig. 5 Monthly fractal dimension value of yellowfin tuna catch at different direction

图中 ISO 表示各向同性, $N0^\circ$ — $N135^\circ$ 依次表示南-北, 东北-西南, 东-西和西北-东南向

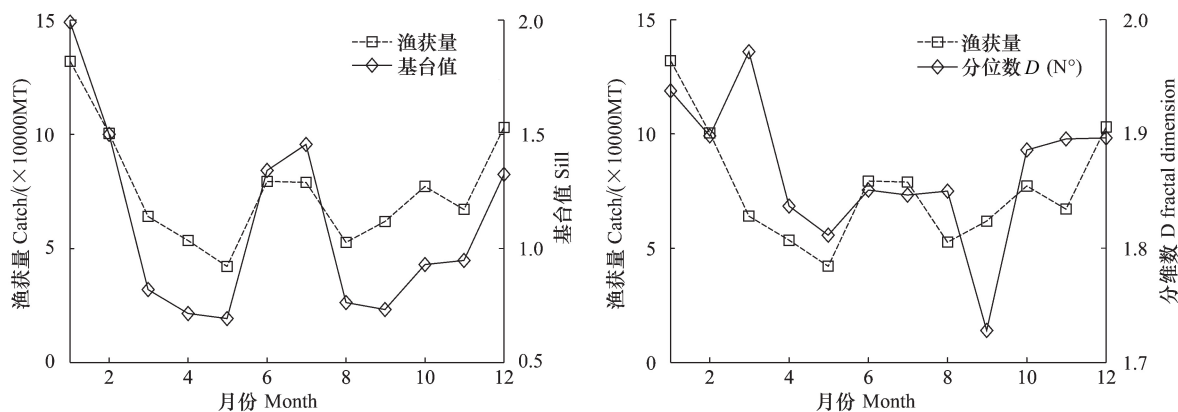


图6 西印度洋黄鳍金枪鱼各月渔获量和基台值、 $N0^\circ$ 分维值间关系

Fig. 6 The relationship between monthly catch and sill, $N0^\circ$ fractal dimension value

发现如果去掉在3月份和9月份的 $N0^\circ$ 方向分维值的突变外,相关性更好。说明南北向的海洋环境过程对渔获量有直接影响,而且南北向海洋过程越强烈(分维值 D 越小)渔获量越小。其次为西北-东南向($N135^\circ$),具有较弱的相关性(相关系数为 0.393, P 值为 0.2067)。

3 讨论

3.1 空间格局的空间异质性特征

从现有结果中发现,西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量分布明显的空间格局结构,空间聚集格局常以指数函数分布特征为主,这与印度洋黄鳍金枪鱼为大洋性洄游鱼类,游泳能力较强有关。但黄鳍金枪鱼喜集群^[18],由于温度影响心输出量,影响移动速度,会大量密集于表面水温较高的水域^[18-19],在某些时候又表现出结构性非常强的分布格局特征。尤其是黄鳍金枪鱼幼鱼,受温度、盐度等水文条件影响会更大^[20]。如当热带雨季(11月—4月)来临时,黄鳍金枪鱼远离盐度较小的沿岸海域,游向盐度适宜海区^[20]。

本研究结果发现,大部分样本的空间异质性中结构性方差比重都很大,这种空间尺度下信息能够包含主要的生态过程和重要的影响因素,说明 $1^\circ \times 1^\circ$ 这个空间尺度下黄鳍金枪鱼渔获量的空间异质性中空间自相关

部分占较大比例,空间分布能够通过相关因子研究进行预测。还发现基台值和渔获量间有密切的正相关关系,这个结果和许多文献^[14-16]结果相同。从各方向上的分维值和渔获量相关性研究中发现了,渔获量和南北及西北-东南两个方向存在一定程度关联性,都是正相关,说明如果海洋环境过程在这两个方向分量强烈,不利于渔获量提升,而其它方向过程对渔获量影响相对较弱。

3.2 季节变化对空间异质性的影响

西印度洋主要的季节性变化主要为季风性气候导致海洋环境的急剧变化。结合渔业特征,本文认为西印度洋海域的黄鳍金枪鱼的空间异质性来源几个方面:首先,黄鳍金枪鱼有明显的南北向季节洄游,这种洄游路线与饵料、海流、温度和盐度密切相关,其中饵料因素对其影响很大^[20];其次,黄鳍金枪鱼垂直运动方式,通常在白天多在深度 150 m 左右水层活动,夜晚上浮至表层 50 m 以下浅水层活动^[21],且夏季栖息水层较浅,冬季栖息水层较深;第三,和围网的捕捞方式有关,主要捕获表层集聚的 2 龄以下幼鱼^[21]。

西印度洋受热带季风影响形成特殊的季风环流。冬季(1 月),印度洋北部吹东北季风,索马里季风洋流与在 5°—6°S 间存在自西向东流的赤道逆流。夏季(8 月),南印度洋东南信风使南赤道暖流向西流,在西南季风的吹送上向西北转向东北流,西南季风将索马里寒流向东,后经苏门答腊岛附近南流,补偿南赤道暖流西流的海水,西印度洋赤道附近顺时针方向的环流产生^[22-23]。

西印度洋中部海域海深大多超过 4000 m,海水缺乏营养物质,而在北部阿拉伯海域,上升流强,海水营养盐丰富,浮游生物量大^[24-26]。而非洲东部的印度洋大陆岸线平直,大陆架窄且陡,缺乏充足营养盐物质^[27]。本文推测为冬季时,海流自北向南输送丰富营养物质和浮游生物,黄鳍金枪鱼围网渔场南移,会在赤道附近一定区域富聚,同时增加在海表层活动,从而增加了围网产量,在空间格局聚集程度较强,空间拟合模型为高斯模型或者球形模型,表现为变程 a 值较小,结构性往往也较好,所以就出现了本文所发现的在 12—2 月份,变程值小,空间结构性较好(随机性比例小)等特征。夏季时,风向为西风、南风、东南风向时,由于缺少大范围 and 稳定的输送营养物质和浮游生物,黄鳍金枪鱼鱼群向北扩展,部分鱼群保持在赤道附近,渔船作业范围增加(图 1),渔场分散,黄鳍金枪鱼空间格局的聚集性降低。但可能在某些温度较高局部海域,或者海流涡旋区集聚,空间相关距离较小,空间结构性好。如 3 月份由于 1—2 月份输送的营养盐和饵料物质能够继续供应黄鳍金枪鱼集群所需,会在较小区域聚集,相关距离较小;也可能当表层饵料和温度、盐度等因素都无法满足集群条件时,黄鳍金枪鱼分布于海域,空间分布随机性增强,空间变异系数增大,相关距离增大,相关性表现较弱。具体的原因还需要进行进一步深入研究。

3.3 ENSO 现象对空间异质性的影响

实际上,年际变化对空间异质性的影响也不可忽视,季节性变化影响往往也叠加了年际变化(如 ENSO 周期)影响。根据前人研究,当厄尔尼诺发生,气压增加,海表温度和上层海水潜热增加,同时海面风力减弱,温跃层下降,垂直梯度加强^[28-30]。海表温度提高幼鱼成活率,而且黄鳍金枪鱼喜温,并喜欢在表层集群活动,如果温跃层上升,黄鳍金枪鱼会增加上层活动。这些有利于黄鳍金枪鱼的幼鱼的生存,从而也提高了围网的渔获量^[31]。据马尔代夫国报告指出,和正常年份相比在厄尔尼诺黄鳍金枪鱼渔获率明显增加,平均增加 11%,而同期拉尼娜年平均渔获率减少 19%^[32-34]。

本研究发现正常月份模型为指数模型为主,厄尔尼诺年份高斯模型比例明显提高,而拉尼娜月份为球形模型为主。国外已有学者研究发现在西印度洋厄尔尼诺时,温跃层加深,围网金枪鱼产量下降,但延绳钓渔获率增加,同样拉尼娜时,温跃层上升,围网渔获率上升而延绳钓下降^[28]。本文认为:产生原因可能为拉尼娜发生时,虽然海水表层温度下降,海面风力也较大,但由于温跃层上升原因,黄鳍金枪鱼会增加表层活动,增加了围网渔获量,较易出现结构性和集聚性较好的空间格局,表现为球形模型结构特征;而厄尔尼诺发生时,海水表层温度升高,风力下降,适宜的区域增大,出现的区域更多,可能出现各种模型结构。

4 结论

本文采用通过地统计方法探讨西印度洋黄鳍金枪鱼渔获量空间异质性,从一个新角度发现影响其资源变

化的关键性环境因子。该方法有助于了解其空间变异的机制、建立空间分布模型和进行空间分布模拟等。

根据本研究工作,本文建议对该海域的渔业资源进行预测的时候预测是需要重点考虑对空间分布格局分布模式有重大影响的季节因素、ENSO 所处冷暖周期,采用合适的半方差模型。同时在渔业资源评估研究中选取环境因素时,表现海洋环境过程在南北向的变量(如海流或者风场)需要重点考虑。

References:

- [1] Romanov E V, Zamorov V V. The pelagic food web of the Western Indian Ocean. http://cordis.europa.eu/inco/fp5/acprep12_en.html.
- [2] Shan H F. Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) fisheries and status quo of fishery resources. *Fisheries Science & Technology*, 2005, (6): 13-16.
- [3] IOTC Secretariat. Estimation of Catch-at-Size, Catch-at-Age and Total Catch Per Area. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2008, 1-33.
- [4] Sun M C. Technology on Marine Fishery. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [5] Li H, Reynolds J F. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos*, 1995, 73(2): 280-284.
- [6] Wang Z Q. Geo-Statistics and Its Application in Ecology. Beijing: Science Press, 1999.
- [7] Li H B, Wang Z Q, Wang Q C. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(6): 651-657.
- [8] Wu J G. Landscape Ecology-Pattern, Process, Scale and Hierarchy. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [9] Chilès J P, Delfiner P. Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty. New York: Wiley, 1999.
- [10] Rivoirard J, Simmonds J, Foote K G, Fernandes P, Bez N. Geostatistics for Estimating Fish Abundance. New York: Wiley Blackwell, 2000.
- [11] Petitgas P. Geostatistics in fisheries survey design and stock assessment: models, variances and applications. *Fish and Fisheries*, 2001, 2(3): 231-249.
- [12] Nishida T, Chen D G. Incorporating spatial autocorrelation into the general linear model with an application to the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) longline CPUE data. *Fisheries Research*, 2004, 70(2/3): 265-274.
- [13] Su F Z, Zhou C H, Zhang T Y, Du Y Y, Yao C Q. Spatial heterogeneity of pelagic fishery resources in the East China Sea. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1971-1975.
- [14] Su F Z, Zhou C H, Shi W Z, Du Y Y. Spatial heterogeneity of demersal fish in East China Sea. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4): 683-686.
- [15] Zhang H Y, Hu F. Spatial heterogeneity of *Todarodes pacificus* in East China Sea in winter. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(11): 1299-1302.
- [16] Zhang H Y, Cheng J H. Geostatistical analysis on spatial patterns of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in the East China Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, 12(4): 419-423.
- [17] Carr J R, Benzer W B. On the practice of estimating fractal dimension. *Mathematical Geology*, 1991, 23(7): 945-958.
- [18] Korsmeyer K, Lai N C, Shadwick R E, Graham J B. Heart rate and stroke volume contributions to cardiac output in swimming yellowfin tuna: response to exercise and temperature. *The Journal of Experimental Biology*, 1997, 200(14): 1975-1986.
- [19] Meng X M, Ye Z J, Wang Y J. Review on fishery and biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *South China Fisheries Science*, 2007, 3(4): 74-80.
- [20] Romera N A. Factors affecting distribution of adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and its reproductive ecology in the Indian Ocean based on Japanese tuna longline fisheries and survey information. Vrije Universiteit Brussel, Belgium, 2000.
- [21] Dagorn L, Holland K N, Hallier J P, Taquet M, Moreno G, Sancho G, Itano D G, Aumeeruddy R, Girard C, Million J, Fonteneau A. Deep diving behavior observed in yellowfin tuna. (*Thunnus albacares*). *Aquatic Living Resources*, 2006, 19(1): 85-88.
- [22] Liang Y Q, Liu J F, Zhang X, Tong K. Characteristics analysis of wind field over the south Indian Ocean. *Marine Forecasts*, 2003, 20(1): 25-31.
- [23] Liu J F, Yu M G, Zhang X H, Zhao H Q. Characteristics of wind wave field and optimum shipping line analysis in north Indian Ocean. *Tropic Oceanology*, 1998, 17(1): 17-24.
- [24] Zonneveld K A F. Dinoflagellate cyst distribution in surface sediments from the Arabian Sea (northwestern Indian Ocean) in relation to temperature and salinity gradients in the upper water column. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1997, 44(6/7): 1411-1443.
- [25] Hering D, Scott M. Fish kill in the Gulf of Oman. [2002-08-14]. <http://earthobservatory.nasa.gov/study/oman/>.
- [26] Yang X M, Chen X J, Zhou Y Q, Tian S Q. A marine remote sensing-based preliminary analysis on the fishing ground of purple flying squid *Shenoteuthis oualaniensis* in the northwest Indian Ocean. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(5): 669-675.
- [27] Wang Y, Zhu D K. Coastal Geomorphology. Beijing: Higher Education Press, 1994.

- [28] Marsac F J, Blanc L L. Dynamics of ENSO events in the Indian Ocean: to what extent would recruitment and catchability of tropical Tuna be affected//7th Expert Consultation on Indian Ocean Tunas. Victoria, 1998.
- [29] Cadet D L. The southern oscillation over the Indian Ocean. *Journal of Climatology*, 1985, 5(2): 189-212.
- [30] Tourre Y M, White W B. Evolution of the ENSO signal over the Indo-Pacific domain. *Journal of Physical Oceanography*, 1997, 27(5): 683-696.
- [31] Hallier J P, Marsa F. The recent drop in the yellowfin catches by the western Indian Ocean purse seine fishery: overfishing or oceanographic changes//Expert Consultation on Stock Assessment of Tunas in the Indian Ocean. Colombo, 1991, 4: 66-83.
- [32] Adam M S, Anderson R C. Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) in the Maldives. <http://www.iotc.org/files/proceedings/1995/ec/IOTC-1995-EC602-09.pdf>.
- [33] Adam M S. The Maldivian tuna fishery-an update. <http://www.iotc.org/files/proceedings/2007/wptt/IOTC-2007-WPTT-23.pdf>
- [34] Charles Anderson R. The Maldivian tuna fishery and indo-pacific ocean variability. *IOTC Proceedings*, 1999, 2: 188-194.

参考文献:

- [2] 尚合峰. 印度洋黄鳍金枪鱼渔业与资源现状. *水产科技*, 2005, (6): 13-16.
- [4] 孙满昌. 海洋渔业技术学. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [6] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [7] 李哈滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法. *应用生态学报*, 1998, 9(6): 651-657.
- [8] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级 (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [13] 苏奋振, 周成虎, 仇天宇, 杜云艳, 姚长青. 东海水域中上层鱼类资源的空间异质性. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 1971-1975.
- [14] 苏奋振, 周成虎, 史文中, 杜云艳. 东海区底层及近底层鱼类资源的空间异质性. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 683-686.
- [15] 张寒野, 胡芬. 冬季东海太平洋褶柔鱼的空间异质性特征. *生态学杂志*, 2005, 24(11): 1299-1302.
- [16] 张寒野, 程家骅. 东海区小黄鱼空间格局的地统计学分析. *中国水产科学*, 2005, 12(4): 419-423.
- [19] 孟晓梦, 叶振江, 王英俊. 世界黄鳍金枪鱼渔业现状和生物学研究进展. *南方水产*, 2007, 3(4): 74-80.
- [22] 梁玉清, 刘金芳, 张弦, 佟凯. 南印度洋风场时空特征分析. *海洋预报*, 2003, 20(1): 25-31.
- [23] 刘金芳, 俞慕耕, 张学宏, 赵海青. 北印度洋风浪场特点及最佳航线分析. *热带海洋*, 1998, 17(1): 17-24.
- [26] 杨晓明, 陈新军, 周应祺, 田思泉. 基于海洋遥感的西北印度洋鳶乌贼渔场形成机制的初步分析. *水产学报*, 2006, 30(5): 669-675.
- [27] 王颖, 朱大奎. 海岸地貌学. 北京: 高等教育出版社, 1994.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.15 August ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Effects of grazing on litter decomposition in two alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet Plateau	ZHANG Yanbo, LUO Peng, SUN Geng, et al (4605)
Distribution pattern and their influencing factors of invasive alien plants in Beijing	WANG Suming, ZHANG Nan, YU Linqian, et al (4618)
Simulation of CO ₂ and H ₂ O fluxes over temperate mixed forest and sensitivity analysis of layered methods: stomatal conductance-photosynthesis-energy balance coupled model	SHI Tingting, GAO Yufang, YUAN Fenghui, et al (4630)
Analysis on the responses of flood storage capacity of Dongting Lake to the changes of landscape patterns in Dongting Lake area	LIU Na, WANG KeLin, DUAN Yafeng (4641)
Integrated water risk assessment in Daliao River estuary area	YU Ge, CHEN Jing, ZHANG Xueqing, et al (4651)
Discussion on the standardized method of reference sites selection for establishing the Benthic-Index of Biotic Integrity	QU Xiaodong, LIU Zhigang, ZHANG Yuan (4661)
Genetic diversity analysis of different age of a Dalian population of the Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> by EST-SSR	YU Zhifei, YAN Xiwu, ZHANG Yuehuan, et al (4673)
Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) purse seine catch in the western Indian Ocean	YANG Xiaoming, DAI Xiaojie, ZHU Guoping (4682)
Seasonal differences in habitat selection of the Crocodile lizard (<i>Shinisaurus crocodilurus</i>) in Luokeng Nature Reserve, Guangdong	WU Zhengjun, DAI Dongliang, NIN Jiajia, et al (4691)
Soil physical and chemical properties in forest succession process in Xinglong Mountain of Gansu	WEI Qiang, LING Lei, CHAI Chunshan, et al (4700)
Dynamics of soil organic carbon and total nitrogen contents in short-rotation triploid <i>Populus tomentosa</i> plantations	ZHAO Xuemei, SUN Xiangyang, KANG Xiangyang, et al (4714)
Grazing effects on eco-stoichiometry of plant and soil in Hulunbeir, Inner Mongolia	DING Xiaohui, GONG Li, WANG Dongbo, et al (4722)
Effect of elevated ultraviolet-B (UV-B) radiation on CH ₄ emission in herbicide resistant transgenic rice from a paddy soil	LOU Yunsheng, ZHOU Wenlin (4731)
NMR spectroscopy based metabolomic analysis of <i>Thellungiella salsuginea</i> under salt stress	WANG Xinyu, WANG Lihua, YU Ping, et al (4737)
Screening and identification of associative nitrogen fixation bacteria in rhizosphere of sugarcane in Guangxi	HU Chunjin, LIN Li, SHI Guoying, et al (4745)
Effects of different rice-crab production modes on soil labile organic carbon and enzyme activities	AN Hui, LIU Mingda, WANG Yaojing, et al (4753)
The characteristics of soil microbial communities at burned forest sites for the Great Xingan Mountains	BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (4762)
Changes of soil faunal communities during the restoration progress of <i>Abies faxoniana</i> Forests in Northwestern Sichuan	CUI Liwei, LIU Shirong, LIU Xingliang, et al (4772)
The effects of the endophytic fungus <i>Ceratobasidium stevensii</i> B6 on <i>Fusarium oxysporum</i> in a continuously cropped watermelon field	XIAO Yi, DAI Chuanchao, WANG Xingxiang, et al (4784)
Population ecology of <i>Aulacoseira granulata</i> in Xijiang River	WANG Chao, LAI Zini, LI Yuefei, et al (4793)
Evaluation of ecosystem sustainability for large-scale constructed wetlands	ZHANG Yiran, WANG Renqing, ZHANG Jian, et al (4803)
MIS3b vegetation and climate changes based on pollen and charcoal on Qianxi Plateau	ZHAO Zengyou, YUAN Daoxian, SHI Shengqiang, et al (4811)
The effects of stemflow on the formation of "Fertile Island" and "Salt Island" for <i>Haloxylon ammodendron</i> Bge	LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (4819)
Accumulation and translocation of dry matter and nutrients of wheat rotated with legumes and its relation to grain yield in a dryland area	YANG Ning, ZHAO Hubing, WANG Zhaohui, et al (4827)
Occurrence characteristics of <i>akashiwo sanguinea</i> bloom caused by land source rainwater	LIU Yihao, SONG Xiukai, JIN Yang, et al (4836)
Analysis on landscape pattern change and its driving forces of Yancheng National Natural Reserve	WANG Yanfang, SHEN Yongming (4844)
Resource potential assessment of urban roof greening and development strategies: a case study in Futian central district, Shenzhen, China	SHAO Tianran, LI Chaosu, ZENG Hui (4852)
Analysis of the dynamic coupling processes and trend of regional eco-economic system development in the Yellow River Delta	WANG Jieyong, WU Jianzhai (4861)
The diversity parameters of butterfly for ecological function divisions in Chongqing	LI Aimin, DENG Heli, MA Qi (4869)
Review and Monograph	
Responses of soil respiration to different environment factors in semi-arid and arid areas	WANG Xinyuan, LI Yulin, ZHAO Xueyong, et al (4890)
Temperature sensitivity of soil respiration: uncertainties of global warming positive or negative feedback	LUAN Junwei, LIU Shirong (4902)
The primary factors controlling methane uptake from forest soils and their responses to increased atmospheric nitrogen deposition: a review	CHENG Shulan, FANG Huajun, YU Guirui, et al (4914)
The research progresses on biological oxidation and removal of nitrogen in lakes	FAN Junnan, ZHAO Jianwei, ZHU Duanwei (4924)
Scientific Note	
Cutting effects on growth and wastewater purification of <i>Cyperus alternifolius</i> in constructed wetland	LÜ Gaiyun, HE Huaidong, YANG Danjing, et al (4932)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 15 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 15 (August, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 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