

气候变化与海洋生物多样性关系研究进展

杜建国¹ William W. L. Cheung² 陈彬^{1*} 周秋麟¹ 杨圣云³ Guanqiong Ye⁴

1 (国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005)

2 (Fisheries Centre, The University of British Columbia, Vancouver, Canada V6T 1Z4)

3 (厦门大学海洋与地球学院, 厦门 361005)

4 (Department of Biological Sciences, National University of Singapore, Singapore 117543)

摘要: 气候变化与生物多样性的关系研究已经成为落实《生物多样性公约》的焦点议题, 海洋生物多样性是生物多样性的的重要组成部分, 研究气候变化与海洋生物多样性的关系对于保护全球生物多样性具有重要意义。作者分析讨论了气候变化与太平洋鲱鱼(*Clupea pallasii*)等海洋生物目标物种、东海浮游动物等海洋生物群落结构、珊瑚礁和红树林等敏感海洋生态系统的关系以及动态生物气候封闭式模型预测方面的研究进展, 提出了我国在该领域需要深入研究的问题和对策, 包括重视目标物种研究、加强生物区系和群落结构研究、加大敏感海洋生态系统研究、开展长时间尺度海洋生物多样性研究、开展预测研究和基于地理信息系统的气候变化与海洋生物多样性关系研究等。

关键词: 气候变化, 目标物种, 预测研究, 生物区系, GIS, 种群历史

Progress and prospect of climate change and marine biodiversity

Jianguo Du¹, William W.L. Cheung², Bin Chen^{1*}, Qiulin Zhou¹, Shengyun Yang³, Guanqiong Ye⁴

1 Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China

2 Fisheries Centre, The University of British Columbia, Vancouver, V6T 1Z4, Canada

3 College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China

4 Department of Biological Sciences, National University of Singapore, 117543, Singapore

Abstract: The relationship between biodiversity and climate change is a primary focal point of the Convention on Biological Diversity. Marine biodiversity is an important part of global biodiversity, therefore, it is imperative to have a thorough understanding of the relationship of climate change and marine organism. We reviewed the research about the relationship of climate changes and marine target species like *Clupea pallasii*, marine population structure such as zooplankton in East China Sea, marine ecosystems like coral reef and mangrove, and forecasting models such as dynamics bioclimate envelope models. We also identified the current status of climate change in China. Based on our analysis, we developed a set of research strategies including attaching importance to target species, enhancing marine animal population, identifying sensitive marine ecosystems, continuing long term studies, developing simulations on marine biodiversity under different climate change scenarios, and using ocean geographic information system (GIS).

Key words: climate change, target species, scenarios study, marine biota, GIS, population history

全球变化是由自然过程和人类活动相互交织的系统驱动所造成的一系列陆地、海洋及大气的生物物理过程, 包括气候、土地生产力、海洋和其他水资源、大气化学及生态系统等改变地球承载生命的能力的变化(朱诚等, 2006; 张兰生等, 2011)。全

球变化是多个因素的综合效应, 每一种变化又导致一系列的次级或更次一级的变化, 如海平面上升、生物多样性变化等, 它们之间相互作用, 相互影响, 最终波及到地球的各大圈层。其中对人类影响最大的是气候变化和生物多样性变化, 1992年联合国环

收稿日期: 2012-02-13; 接受日期: 2012-05-18

基金项目: 国家自然科学基金(31101902)、福建省自然科学基金(2012J05074)、国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费专项资金(海三科 2011006)、国家海洋局青年海洋科学基金(2011143)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: chenbin910@yahoo.com.cn

境与发展大会就这两个领域形成《联合国气候变化框架公约》和《生物多样性公约》。《联合国气候变化框架公约》指出,海洋是气候系统的一个基本组成部分,在气候系统中具有根本性作用,不仅直接影响气候,而且也受到气候变化的影响,其引起的海洋酸化是影响海洋可持续发展的四个关键因素之一(IOC/UNESCO *et al.*, 2011)。美国2007年发布的《规划美国今后十年海洋科学事业:海洋研究优先计划和实施战略》,将海洋在气候变化中的作用列为六大主题之一。我国也高度关注气候对生物多样性的影响(http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201009/t20100921_194841.htm),积极制定和实施适应气候变化的政策与行动(http://www.most.gov.cn/twzb/twzbxgbd/200706/t20070615_50495.htm; Xie, 2010; 王伟光和郑国光, 2010)。气候变化与生物多样性的关系逐渐成为《生物多样性公约》下的焦点议题(吴军等, 2011)。

海洋生物多样性是全球生物多样性的重要组成部分。20世纪以来已有多个国际计划开展了对海洋生物的研究,如国际生物多样性科学计划(DIVERSITAS)、水循环生物学计划(BAHC)和国际海洋生物普查计划(CoML)等,其中国际海洋生物普查计划是有史以来规模最大、历时最长、范围最广的全球海洋生物种类普查计划,目标是对全球海洋生物进行调查,从种群、物种和基因三个层次、评估及解释海洋生物的多样性、分布及其丰富程度。该计划除了发现1,200多个新种并建立了全球最大的在线海洋生物地理信息系统(Ocean Biogeographic Information System, OBIS)外,还预测到未来对海洋生物影响最大的因素为气候变化(邵广昭, 2011)。气候变化引起的海洋表层温度、CO₂浓度和海平面的上升、降水量变化和海洋水文结构变化以及紫外线辐射增强等对海洋生物多样性会造成影响(IPCC, 2007)。国外对气候变化和海洋生物多样性之间关系的研究非常系统和深入(Barange *et al.*, 2011; ICES, 2011; Bell *et al.*, 2011)。

气候变化通过黑潮和东亚季风的变化影响中国近海和海岸带环境(第二次气候变化国家评估报告编写委员会, 2011)。近30年来,我国沿海海洋表面温度上升了0.9 (http://www.gov.cn/jrzg/2011-11/22/content_2000047.htm),东海至台湾海峡附近海域的升温尤为显著(Belkin, 2009; 蔡榕硕, 2010)。沿

海海平面上升了90 mm,平均上升速率为2.6 mm/年,高于全球平均水平。而且,与2000年相比,到2020年中国平均气温将升高1.3–2.1, 2050年将升高2.3–3.3 (http://www.most.gov.cn/twzb/twzbxgbd/200706/t20070615_50495.htm); 全海域2030年将比2009年上升80–130 mm,同时存在显著的区域差异(第二次气候变化国家评估报告编写委员会, 2011; <http://www.soa.gov.cn/soa/hygb/hpmgb/webinfo/2010/03/1271382649051961.htm>)。我国在海洋生物多样性研究方面有很好的积累(黄宗国, 1994, 2008; 陈清潮, 1997; 梁玉波和王斌, 2001; 王斌, 2002; 刘瑞玉, 2008, 2011; 黄宗国和林茂, 2012),而且近年来也开展了有关气候变化与我国海洋生物多样性关系的研究(周秋麟和杨圣云, 1998a, b; 陈宝红等, 2009; 蔡榕硕, 2010; 韦兴平等, 2011),但对这方面的认识仍十分有限,特别是在目标物种、长时间尺度影响、模型预测和基于GIS的气候变化与海洋生物多样性等方面关注较少。本文分析讨论了气候变化与海洋生物多样性的关系研究进展及我国的研究状况,提出了我国在气候变化与海洋生物多样性领域需要深入研究的问题和对策。

1 气候变化与海洋生物目标物种的关系

由于海洋生态系统非常复杂,直接研究气候变化与海洋生物多样性的关系比较困难,因此通过研究目标物种的种群动态进而探讨生态系统的变化成为一个有效的途径(deYoung *et al.*, 2004; Field *et al.*, 2006; Steele *et al.*, 2007)。目标物种的选取采用以下标准:(1)易受气候变化影响;(2)具有经济或生态重要性,是生态系统的优势物种;(3)具有幼体浮游生活史;(4)分布广泛,与其他多数海洋生物具有捕食或被捕食关系;(5)具有长期监测数据等(King & Therriault, 2011)。目前世界上已有多个国家或地区采取以目标物种为中心的思路来研究气候变化与海洋生物多样性的关系,如在洪堡海流区域选取智利哲水蚤(*Calanus chilensis*)和秘鲁鳀(*Engraulis ringens*),在西北大西洋选取飞马哲水蚤(*Calanus finmarchicus*)和大西洋鳕(*Gadus morhua*),在南大洋选取南极磷虾(*Euphausia superba*)和鲸类等,在阿拉斯加湾选取海鸟和鲸类(Barange *et al.*, 2011),在中国黄海大陆架选取中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)和鳀鱼(*Engraulis japonicus*)(唐启升等, 2005),在台

湾海峡选取金色小沙丁鱼(*Sardinella aurita*)(周秋麟和杨圣云, 1998a), 在东海选取肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)(李云等, 2009)和中华假磷虾(*Pseudeuohausiasinica*)(Gao & Xu, 2011)等。

另外, 结合历史文献资料与海洋环境和生物数据, 研究人员通过选取目标物种来研究生物多样性的长时段变化及原因, 如在大西洋西北选取大西洋鳕, 在荷兰选取大西洋鲱鱼(*Clupea harengus*)(Poulsen, 2008), 在俄罗斯和挪威选取银鲑(*Oncorhynchus kisutch*)(<http://www.hmapcoml.org>)等。我国的李玉尚(2011)从海洋生物种群历史的角度, 选取太平洋鲱鱼(*Clupea pallasii*)作为目标物种, 发现明初以来600多年的气候冷暖交替以及18世纪以来降水量的增加, 是影响黄渤海鲱鱼种群和资源量相当关键的两个因素。如鲱鱼数量的变化具有一定的周期性, 明代鲱鱼的变动与对马暖流的强弱和气候的冷暖干湿变化密切相关(李玉尚和陈亮, 2009); 鲱鱼的变化进而会引起其他物种的变化, 如鲱鱼的旺发引起海蜇分布区域的南移、鲸类数量增多和分布区域的扩大等(李玉尚, 2010)。

2 气候变化与海洋生物群落结构的关系

气候变化使海洋生物的群落结构发生改变, 如厄尔尼诺现象不仅导致浙江近海鲈鳎鱼类产卵场的时空错位并对鲈鳎类幼鱼的生长发育造成影响(洪华生等, 1997, 1998), 也导致闽南-台湾浅滩上升流渔场环境发生巨大改变, 使该渔场中上层和中下层鱼类群落结构都发生了改变(何发祥, 1988, 1995; 何发祥等, 2003)。1986-1997年闽南-台湾浅滩渔场的暖水性鱼类比例下降了10-20%, 暖水性鱼类的比例则升高了10-20%, 但这种变化在时间上比水温变化滞后4年(张学敏等, 2005)。另外, 我国黄海主要冷水种数和种群密度随水温的升高正在下降, 黄海冷水底栖生物区系多样性较半世纪前显著降低(刘瑞玉, 2011), 黄海冷温性和冷水性的鱼类得不到冷水团的保护, 也出现衰退的迹象(刘静和宁平, 2011)。

气候变化已经使部分生物群落的分布北移, 如与1959年相比, 东海近海浮游动物群落的变化主要在春季, 主要表现为温水种和多数温暖种的地理分布北移(徐兆礼, 2011; Xu *et al.*, 2011)。Edwards和Richardson(2004)分析了1958-2002年浮游生物的长

期监测数据, 发现不同浮游生物类群对气候变化的响应是不同的。海洋浮游生物丰度与分布的变化进而影响到其他高营养层级生物生物量的变化(刘允芬, 2000; 方海等, 2008; 赵蕾, 2008; Cheung *et al.*, 2011)。如自20世纪50年代以来, 加利福尼亚海流中的浮游动物生物量下降了70%, 一些海鸟的生物量也相应剧烈下降(Barange *et al.*, 2011)。一些鱼类、海鸟(Thomas & Lennon, 1999)、哺乳动物(Hersteinsson & Macdonald, 1992)和无脊椎动物(Hickling *et al.*, 2006)也呈北移趋势, 而且这一趋势正逐年增强, 如格陵兰自20世纪20年代以来的暖化, 使许多鱼类的丰度和分布发生了变化, 出现了如黑线鳕(*Melanogrammus aeglefinus*)等许多新记录种(Green *et al.*, 2003)。在2000年之后, 台湾海峡渔业资源调查中发现了13种暖水性鱼类新记录种, 研究表明气候变暖是导致这些鱼类生存空间北移的原因(戴天元, 2004; 陈宝红等, 2009)。在北部湾也有热带暖水性鱼类新记录种的出现, 如苏门答腊金线鱼(*Nemipterus mesoprion*), 该鱼种的北移可能是气候变暖的结果(黄梓荣和王跃中, 2009)。

温度升高使部分海洋生物的物候提前, 如东海近海浮游动物温水性或暖温性群落向亚热带群落更替的时间已经提前, 这对赤潮发生、鱼类产卵场饵料变化等生态事件将产生重大影响(徐兆礼, 2011; Xu *et al.*, 2011)。在欧洲, 25种鸟类孵化日期与春季气温密切相关, 气温升高使孵化日期提前(Both *et al.*, 2004), 如崖海鸦(*Uria aalge*)在过去50年里每10年提前24天繁殖。温度升高也会引起肉食性鱼类数量增加, 而小型鱼类、虾类和螃蟹数量则明显减少。另外, 海水酸化也会影响部分软体动物、海星、海胆等结构的完整性, 威胁其生存(Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007)。

3 气候变化与敏感海洋生态系统的关系

3.1 珊瑚礁生态系统

在1979年之前, 许多珊瑚礁研究者还难以说明气候变化和区域性珊瑚白化之间的关系(Glynn,

Hobday AJ, Okey TA, Poloczanska ES, Kunz TJ, Richardson AJ (2006) Impacts of climate change on Australian marine life. Australian Greenhouse Office, Department of the Environment and Water Resources,

Kennedy VS, Twilley RR, Kleypas JA, Cowan JH, Hare SR (2002) Coastal and marine ecosystems and global climate change: potential effects on U. S. resources. Pew Centre on Global Climate Change. http://www.pewclimate.org/docUploads/marine_ecosystems.pdf

1993), 可现在已经成为事实(<http://www.cbd.int/gbo3/>)。气候变化对珊瑚礁最大的影响是珊瑚礁白化和病虫害, 在过去几十年中, 珊瑚白化和病虫害的频率和幅度已经大为增加(Hughes *et al.*, 2003; Langdon & Atkinson, 2005; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007), 如1998年南沙群岛表层水温偏高, 普遍出现珊瑚白化现象(陈清潮, 2011)。大气中CO₂浓度的升高将导致海洋进一步酸化, 从1880–2002年, 我国南沙珊瑚礁生态系统的平均钙化速率已经下降了12%, 预计到2100年南海南沙表层水中CaCO₃饱和度将下降43%, 该海域珊瑚礁的平均钙化速率将较大幅度地下降(张远辉和陈立奇, 2006)。气候变化会导致珊瑚骨骼的弱化, 降低珊瑚礁的生长率, 尤其是高纬度地区珊瑚礁的生长率(Kleypas *et al.*, 1999)。我国北部湾涠洲岛月平均最高海面温度的持续上升也使该区域的珊瑚生长处于非常敏感的边缘, 加上人类活动对涠洲岛珊瑚礁的潜在不利影响, 导致珊瑚礁的退化(余克服等, 2004)。另外, 温度升高也导致造礁石珊瑚的分布北移。长期以来, 我国科学家始终认为福建东山造礁石珊瑚是中国大陆沿岸造礁石珊瑚群落分布的最北缘(聂宝符等, 1997; 姜峰等, 2011), 但近期在福建平潭发现了造礁石珊瑚(赵绍华等, 2011), 在浙江南麂列岛也发现了造礁石珊瑚的分布(CAS, 2007)。

3.2 红树林生态系统

气候变化对红树林的影响有利和弊两个方面。大气温度升高和二氧化碳浓度上升会促进红树植物的生长, 提高红树林的生产力(Saenger, 2002), 同时也会引起红树林分布范围的改变(陈小勇和林鹏, 1999), 红树植物的分布北界已由过去的福建省福鼎县到达浙江省温州乐清湾西门岛(龚婕等, 2009)。温度升高2 °C后, 红树植物的分布北界可能到达浙江嵊县, 群落物种也会增加(第二次气候变化国家评估报告编写委员会, 2011)。

海平面上升对红树林的影响主要取决于红树林底质的沉积速率能否赶上海平面上升速度(陈少波和卢昌义, 2012)。海平面上升幅度大时, 可能会导致局部地区红树林的消失(陈小勇和林鹏, 1999)。未来我国近海海平面上升的同时, 河流入海的泥沙量将减少, 泥沙沉积速率降低, 因此近海红树林生态系统将面临严峻的考验, 如近年野外调查发现福建九龙江口潮间带低滩的红树多因海岸侵

蚀而倒伏死亡。但海平面上升对红树林也有促进作用, 微型盆栽试验和野外种植试验均表明, 海平面上升30 cm能促进秋茄(*Kandelia obovata*)的萌发和早期生长(叶勇等, 2004)。潮汐作用使得红树林产生生理响应, 但不同物种的适应能力则不同(Kercher & Zedler, 2004)。

强大的风暴潮可以影响红树结构, 尤其是对大树的影响严重, 从而降低红树林的多样性指数。降雨量的改变同样会影响红树林的生长和分布格局, 在降雨量较多的海岸线上, 红树林的高度和生物多样性都比降雨量较少的海岸线要多。另外, 如果红树林暴露在过度的阳光下, 其光合作用速率下降(陈少波和卢昌义, 2012)。强光的负面影响可能与红树林受到的紫外线剂量有关, 但有关的研究很少。

4 预测研究

对未来的海洋生物多样性进行模拟预测研究, 可以决定如何更好地为后代保护海洋。科学家们虽然已经开发了许多海洋生态系统模型, 如ERSEM模型(Baretta *et al.*, 1995)和EWE模型(Pauly *et al.*, 2000), 但这些模型强调生物自身的循环系统, 在某种程度上忽视了环境场四维时空结构的演变与生物场的联系(苏纪兰和唐启升, 2005; 张素香等, 2006), 较难预测气候变化对海洋生物多样性的影响。动态生物气候封闭式模型(dynamics bioclimate envelope models)通过输入物种的生物和物理参数, 可以预测物种分布的变化, 目前已经被广泛应用于动植物时空分布的预测(Peterson *et al.*, 2002; Thomas *et al.*, 2004; Thuiller *et al.*, 2005)。尽管也存在诸多假设和不确定性, 但该模型是目前为数不多的能够预测由地理分布改变引起的生态系统结构和功能变化的模型之一(Botkin *et al.*, 2007)。海洋领域有学者以1,066种鱼类和无脊椎动物为例, 应用该模型预测了至2050年气候变化对海洋生物多样性的影响, 指出气候变化对高纬度地区海洋生物多样性的影响较为严重, 全球鱼类的分布将发生大规模的变化, 海洋鱼类每10年会偏离它们的传统栖息地40 km以上(Cheung *et al.*, 2009)。最新的预测模型更多地包含生物对气候和海洋变化响应机制的探索, 包括生理、生长和各营养层级间的相互作用(Cheung *et al.*, 2011)。

我国在海洋生态系统动力学模型方面的研究虽然起步较晚, 但已有较多的工作基础, 如采用动力数值模拟分析胶州湾北部水层-底栖耦合生态系统(吴增茂等, 2001), 采用NPAD模型模拟渤海浮游植物生物量(高会旺和王强, 2004), 采用Ecopath模型研究长江口及毗邻水域生态系统结构和能量流动(林群等, 2009)、比较分析南海北部大陆架海洋生态系统演变(王晓红等, 2009)、研究北部湾生态系统结构和功能(陈作志等, 2008)等。蔡榕硕(2010)从海洋环境的长期变动以及海洋生态动力学等角度构建了台湾海峡和厦门湾的海洋生态动力模式, 研究了该海域的海洋生态系统变化规律。

5 研究展望

我国近海地处东亚强季风区并毗邻西北太平洋, 海洋生态系统受东亚季风、西太平洋强边界流黑潮、沿岸流和江河冲淡水等气候因子的影响显著, 我国近海必然受到气候变化的明显影响(蔡榕硕和谭红建, 2010)。虽然我国在气候变化与海洋生物多样性关系领域已做了较多的工作, 但与国外相比, 研究策略和研究方法均有待提高。

5.1 重视目标物种研究

我国已经开展过多次大规模海洋生物多样性调查, 包括1958-1960年全国海洋综合调查和渔业资源调查研究、1959-1960年和1962年进行的中越北部湾海洋综合调查、1980-1987年全国海岸带和滩涂资源综合调查、1997-2000年中国专属经济区大陆架环境和资源调查、2004-2009年我国近海海洋综合调查与评价等, 积累了非常丰富的气候和海洋生物多样性数据, 可以从中筛选出很好的目标物种。其中, 中华哲水蚤是西北太平洋陆架区的特征种, 也是我国近海重要浮游桡足类之一, 在中国近海生态系统中的地位与大西洋中的飞马哲水蚤相当, 被称为海洋浮游动物中的关键种(林元烧, 2005)。半个世纪以来, 我国在中华哲水蚤生物学和生态学领域已经积累了丰富的资料, 但作为我国近海浮游动物的关键种, 气候变化对其种群发生和生活史策略的影响等仍了解不多, 因此建议对该物种进行深入系统研究。在鱼类的目标物种选取方面, 中上层鱼类如鳀鲱鱼类和鲐鲹鱼类等在中国海域种类丰富且数量较多, 特别是金色小沙丁鱼和蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*), 在台湾海峡南部上升流

生态系统中占有重要地位, 近几十年来积累了非常多的资料。但目前的研究仅限于厄尔尼诺等极端气候对其的影响, 缺少长时间的系统研究, 因此建议以二者为目标物种进行深入研究。

5.2 加强生物区系和群落结构研究

中国海是西太平洋低、中纬度的边缘海, 其中渤海水温和季节变化幅度极大, 海洋生物区系属于北太平洋温带区系, 多样性较低; 黄海由于受黄海冷水团影响, 生物区系以温带和寒带冷水性成分为主, 属于北太平洋温带区系, 但由于沿岸浅海暖水区系成分自东海侵入, 种类显著增多, 生物多样性较高; 东海、南海由于受黑潮暖流、南海暖流、台湾暖流等影响, 生物区系以热带、亚热带成分占优势, 属于印度-西太平洋暖水区系, 生物多样性最高。这些海区的生物区系既有共性也有差异(中国海洋渔业资源编写组, 1990)。因此, 应在大尺度范围内关注海洋生物区系研究, 特别是密切关注海洋生物分布变化, 暖水性、暖温性、冷温性和冷水性物种的比例变化, 生物群落和种群结构变化, 以及新记录种的出现等。

5.3 加大典型生态系统研究

气候变化已经对我国海岸带环境和生态系统产生了一定的影响, 近50年来我国沿海海平面上升有加速趋势, 并造成海岸侵蚀和海水入侵, 使得滨海湿地、红树林和珊瑚礁等典型生态系统受损程度加大(http://www.most.gov.cn/twzb/twzbxgbd/200706/t20070615_50495.htm)。海洋生物物种的分布具有明显的区域性和地方性, 近海尤其是海岸带地区的珊瑚礁、红树林和上升流等典型海洋生态系统拥有高度丰富的海洋生物多样性, 在研究气候变化与生物多样性的相互关系中, 应以这些典型生态系统为重点研究对象。特别需要指出的是, 我国东南沿海是西太平洋中支红树林植物分布的北部边缘, 自海南榆林港至福建北部的福鼎及台湾北部都有间断性的自然分布, 浙江西门岛移植秋茄也获得成功, 建议以后高度关注西门岛红树林以及西门岛以北是否会出现红树林。另外, 福建东山是我国大陆近岸亚热带海域造礁石珊瑚群落自然分布的北缘, 但福建平潭和浙江南麂列岛也发现了造礁石珊瑚, 虽然目前仍没有这两个海区造礁石珊瑚种类组成、数量、分布面积的报道, 但这两个地区的典型海洋生态系统值得关注。

5.4 开展长时间尺度海洋生物多样性研究

海洋生物种群历史研究是国际海洋生物普查计划四个子计划之一,该计划旨在结合历史文献资料与海洋环境和海洋生物数据,考察历史时期海洋物种的种群结构、分布、数量、变化原因以及变化规律(<http://www.coml.org>)。由于我国历史的统一性和连贯性,相较于其他国家而言,我国在气候和海洋生物长时间尺度的历史资料记录方面具有独特的优势。各个历史时期,我国沿海省份的地方志略大多有对海洋生物的记载,如乾隆二十九年的《诸城县志》就记录了该县梭鱼、带鱼、真鲷、鳓鱼和黄姑鱼等海洋鱼类的渔期;我国也有丰富的古籍,如明代屠本峻的《闽中海错疏》、明代杨慎的《异鱼图赞》、明末胡世安的《异鱼图赞补》和《异鱼赞集闰集》、明末何乔远的《闽书》、清代郝懿行的《记海错》、清末郭伯苍的《海错百一录》等,记载有海洋生物种类凡一二百种,其中不乏生物群落结构、分布、数量、汛期等信息,如《异鱼赞集闰集》记载金色小沙丁鱼和蓝圆鲹“五六月间多结阵而来,多者一网可售数百金”。这些信息是非常有价值的,可通过考据与计量的结合来研究历史上气候变化对海洋生物多样性的影响,但目前较少有学者关注这个领域。因此,以后应加强海洋科学、水产科学和历史科学的交叉合作,开展长时段内气候变化与海洋生物多样性的关系研究,有利于更加全面客观地理解海洋生物多样性的变化。

5.5 开展预测研究

虽然现在海洋生物多样性降低的主要原因是过度捕捞(55%)和栖息地破坏(37%),而外来入侵、污染及气候变化三者不到8%,但预测未来影响最大的是气候变化(邵广昭,2011)。因此,以后海洋生物多样性研究的努力方向是进一步研究过去高温环境下和现代气候变化下未来种群发展的预测(刘瑞玉,2011),以及进一步了解生物多样性在气候变化的威胁下如何应对等(邵广昭,2011)。

我国在利用模型研究海洋生态系统变化规律方面做了较多工作,但要较好地模拟或预测气候变化对生物多样性及生态系统的影响则非常困难。因此,在理解物理、化学和生物各过程相互作用机理的基础上,以后应注意海洋物理环境与生物场的耦合关系研究,加强对动态生物气候封闭式模型的研究,进一步完善模型方法。建议以我国主要经济鱼

类和无脊椎动物的分布范围为研究对象,应用最新的生物气候分室模型,预测未来气候变化对我国海洋多样性的影响,以期为我国海洋生态系统应对气候变化政策和措施的制定提供科学依据。

5.6 开展基于GIS的气候变化与海洋生物多样性关系研究

国际海洋生物普查计划构建了全球最大的在线海洋生物地理信息系统(OBIS),这是一个用于考察生物多样性、分布及数量,跨越时间和空间变化的海洋生物和环境数据库(<http://www.iobis.org>)。中国也参加了国际海洋生物普查计划,进行了浮游动物多样性普查,目前完成了黄东海浮游动物断面季度采样、研究和从北极海经赤道至南大洋直线航次调查,该部分数据已提交到海洋生物地理信息系统数据库(刘瑞玉,2011)。在我国,GIS技术也已经成功地运用到海洋生物多样性保护和管理(Chen *et al.*, 2009; 杜建国等,2011)。因此,建议以我国丰富的气候变化和海洋生物多样性数据为基础,运用GIS技术,建立我国自己的海洋生物地理信息系统数据库,这将对我国在气候变化和海洋生物多样性研究方面大有裨益。

参考文献

- Barange M, Field JG, Harris RP, Hofmann EE, Perry RI, Werner FE (2011) *Marine Ecosystems and Global Change*. Oxford University Press, New York.
- Baretta JW, Ebenhöf W, Ruardij P (1995) The European regional seas ecosystem model, a complex marine ecosystem model. *Netherlands Journal of Sea Research*, **33**, 233–246.
- Belkin IM (2009) Rapid warming of large marine ecosystems. *Progress in Oceanography*, **81**, 207–213.
- Bell JD, Johnson JE, Hobday AJ (2011) *Vulnerability of Tropical Pacific Fisheries and Aquaculture to Climate Change*. Secretariat of the Pacific Community, Noumea, New Caledonia.
- Both C, Artemyev AV, Bluuaw B, Cowie RJ, Dekhuijzen AJ, Eeva T, Enemar A, Gustafsson L, Lvankina EV, Järvinen A, Metcalfe NB, Nyholm NE, Potti J, Ravussin PA, Sanz JJ, Silverin B, Slater FM, Sokolov LV, Török J, Winkel W, Wright J, Zang H, Visser ME (2004) Large-scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **271**, 1657–1662.
- Botkin DB, Saxe H, Araújo MB, Betts R, Bradshaw RHW, Cedhagen T, Chesson P, Dawson TP, Etterson JR, Faith DP, Ferrier S, Guisan A, Hansen AS, Hilbert DW, Loehle C, Margules C, New M, Sobel MJ, Stockwell DRB (2007) Forecasting the effects of global warming on biodiversity.

- BioScience*, **57**, 227–236.
- Cai RS (蔡榕硕) (2010) *Impacts of Climate Change on Offshore Ecological System of China* (气候变化对中国近海生态系统的影响). China Ocean Press, Beijing. (in Chinese)
- Cai RS (蔡榕硕), Tan HJ (谭红建) (2010) Influence of interdecadal climate variation over East Asia on offshore ecological system of China. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), **29**, 173–183. (in Chinese with English abstract)
- Chen B, Huang H, Yu WW, Zheng SL, Wang JK, Jiang JL (2009) Marine biodiversity conservation based on integrated coastal zone management (ICZM): a case study in Quanzhou Bay, Fujian, China. *Ocean and Coastal Management*, **52**, 612–619.
- Chen BH (陈宝红), Zhou QL (周秋麟), Yang SY (杨圣云) (2009) Impacts of climate changes on marine biodiversity. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), **28**, 437–444. (in Chinese with English abstract)
- Chen QC (陈清潮) (1997) Current status and prospects of marine biodiversity in China. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **5**, 142–146. (in Chinese with English abstract)
- Chen QC (陈清潮) (2011) The protection of biodiversity in the South China Sea. *Biodiversity Science* (生物多样性), **19**, 834–836. (in Chinese with English abstract)
- Chen SB (陈少波), Lu CY (卢昌义) (2012) *The Mangrove Northward Ecology Response to Climate Change* (应对气候变化的红树林北移生态学). China Ocean Press, Beijing. (in Chinese)
- Chen XY (陈小勇), Lin P (林鹏) (1999) Responses and roles of mangroves in China to global climate changes. *Transaction of Oceanology and Limnology* (海洋湖沼通报), (2), 11–17. (in Chinese with English abstract)
- Chen ZZ (陈作志), Qiu YS (邱永松), Jia XP (贾晓平), Huang ZR (黄梓荣), Wang YZ (王跃中) (2008) Structure and function of Beibu Gulf ecosystem based on Ecopath model. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), **15**, 460–468. (in Chinese with English abstract)
- Cheung WWL, Dunne J, Sarmiento JL, Pauly D (2011) Integrating ecophysiology and plankton dynamics into projected maximum fisheries catch potential under climate change in the Northeast Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, **68**, 1008–1018.
- Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R, Pauly D (2009) Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries*, **10**, 235–251.
- Chinese Academy of Sciences (CAS) (中国科学院) (2007) Chinese scientist discovered the hermatypic corals in Nanji Islands. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences* (中国科学院院刊), **22**, 414–415. (in Chinese)
- Dai TY (戴天元) (2004) *Ecological Carrying Capacity and Marine Catching Management of Fisheries Resources in Fujian* (福建海区渔业资源生态容量和海洋捕捞业管理研究). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- deYoung B, Heath M, Werner F, Chai F, Megrey B, Monkfray P (2004) Challenges of modeling ocean basin ecosystems. *Science*, **304**, 1463–1466.
- Du JG (杜建国), Chen B (陈彬), Zhou QL (周秋麟), Yang SY (杨圣云), Wen Q (温泉), Shi HH (石洪华), Yu WW (俞炜炜), Huang H (黄浩) (2011) Strategies for the marine biodiversity conservation based on the integrated coastal zone management. *Marine Science Bulletin* (海洋通报), **30**, 456–462. (in Chinese with English abstract)
- Edwards M, Richardson AJ (2004) Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, **430**, 881–884.
- Fang H (方海), Zhang H (张衡), Liu F (刘峰), Zhou WF (周为峰) (2008) A summary of research progress related with the fluctuation of the worldwide main marine fishery resources influenced by climate changes. *Marine Fisheries* (海洋渔业), **30**, 363–370. (in Chinese with English abstract)
- Field JC, Francis RC, Aydin KY (2006) Top-down modeling and bottom-up dynamics: linking a fisheries-based ecosystem model with climate hypotheses in the Northern California Current. *Progress in Oceanography*, **68**, 238–270.
- Gao HW (高会旺), Wang Q (王强) (2004) A numerical study of phytoplankton biomass in the Bohai Sea in 1999. *Periodical of Ocean University of China* (中国海洋大学学报), **34**, 867–873. (in Chinese with English abstract)
- Gao Q, Xu ZL (2011) Effect of regional warming on the abundance of *Pseudeuphausia sinica* Wang et Chen (Euphausiacea) off the Changjiang River (Yangtze River) Estuary. *Acta Oceanologica Sinica*, **30**, 122–128.
- Glynn PW (1993) Coral reef bleaching: ecological perspectives. *Coral Reefs*, **12**, 1–17.
- Gong J (龚婕), Song YQ (宋豫秦), Chen SB (陈少波) (2009) Effects of global climate change on mangrove in Zhejiang Coast. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), **37**, 9742–9744, 9784. (in Chinese with English abstract)
- Green RE, Harley M, Miles L, Scharlemann J, Watkinson A, Watts O (2003) *Global Climate Change and Biodiversity*. University of East Anglia, Norwich.
- He FX (何发祥) (1988) The relation between EL-NINO event and fish crop in mid-upper water layer on the Minnan-Taiwan Shoal. *Transactions of Oceanology and Limnology* (海洋湖沼通报), (1), 83–90. (in Chinese with English abstract)
- He FX (何发祥) (1995) Primary research on pelagic fish catch changes of Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground in the 1980s. *Transactions of Oceanology and Limnology* (海洋湖沼通报), (1), 18–25. (in Chinese with English abstract)
- He FX (何发祥), Hong HS (洪华生), Chen G (陈刚) (2003) Relationship between ENSO events and the production of fish of middle and low tiers in Western Taiwan Strait.

- Transactions of Oceanology and Limnology* (海洋湖沼通报), (1), 27–34. (in Chinese with English abstract)
- Hersteinsson P, Macdonald DW (1992) Interspecific competition and the geographical distribution of red and arctic foxes *Vulpes vulpes* and *Alopex lagopus*. *Oikos*, **64**, 505–515.
- Hickling R, Roy DB, Hill JK, Fox R, Thomas CD (2006) The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology*, **12**, 450–455.
- Hoegh-Guldberg O, Mumby PJ, Hooten AJ, Steneck RS, Greenfield P, Gomez E, Harvell CD, Sale PF, Edwards AJ, Caldeira K, Knowlton N, Eakin CM, Iglesias-Prieto R, Muthiga N, Bradbury RH, Dubi A, Hatzioiols ME (2007) Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, **318**, 1737–1742.
- Hong HS (洪华生), He FX (何发祥), Chen G (陈刚) (1998) Relationship between ENSO events and plankton abundance in western Taiwan Strait. *Transactions of Oceanology and Limnology* (海洋湖沼通报), (4), 1–9. (in Chinese with English abstract)
- Hong HS (洪华生), He FX (何发祥), Yang SY (杨圣云) (1997) EL-NINO phenomenon and variation of catch of *Scomber japonicus* and *Decapterus maruadsi* in offshore waters of Zhejiang Province. *Transactions of Oceanology and Limnology* (海洋湖沼通报), (4), 8–16. (in Chinese with English abstract)
- Huang ZG (黄宗国) (1994) *Marine Species and Their Distribution in China* (中国海洋生物种类与分布). China Ocean Press, Beijing. (in Chinese)
- Huang ZG (黄宗国) (2008) *Marine Species and Their Distribution in China* (中国海洋生物种类与分布(增订版)). China Ocean Press, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- Huang ZG (黄宗国), Lin M (林茂) (2012) *The Living Species and Their Illustrations in China's Seas* (中国海洋物种和图集). China Ocean Press, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- Huang ZR (黄梓荣), Wang YZ (王跃中) (2009) *Nemipterus mesoprion* (Bleeker, 1853) appeared in Beibu Bay and its morphologic character. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), **28**, 516–519. (in Chinese with English abstract)
- Hughes TP, Baird AH, Bellwood DR, Card M, Connolly SR, Folke C, Grosberg R, Hoegh-Guldberg O, Jackson JBC, Kleypas J, Lough JMJ, Marshall P, Nyström M, Palumbi SR, Pandolfi JM, Rosen B, Roughgarden J (2003) Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*, **301**, 929–933.
- ICES Journal of Marine Science (2011) *Climate Change Effects on Fish and Fisheries: Forecasting Impacts, Assessing Ecosystem Responses, and Evaluating Management Strategies*. Oxford University Press, New York.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) *Climate change 2007: synthesis report*. In: *Contribution of Working Groups I, II, III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Pachauri RK, Reisinger A). IPCC, Geneva, Switzerland.
- IOC/UNESCO, IMO, FAO, UNDP (2011) *A Blueprint for Ocean and Coastal Sustainability*. IOC/UNESCO, Paris.
- Jiang F (姜峰), Chen MR (陈明茹), Yang SY (杨圣云) (2011) Investigating the status quo of hermatypic corals resources and its protection in Dongshan water areas, Fujian Province. *Resources Science* (资源科学), **33**, 364–371. (in Chinese with English abstract)
- Kercher SM, Zedler JB (2004) Flood tolerance in wetland angiosperms: a comparison of invasive and noninvasive species. *Aquatic Botany*, **80**, 89–102.
- King J, Therriault T (2011) Indicators for status and change within north pacific marine ecosystem. *Newsletter of the North Pacific Science Organization*, **19**(2), 5–8.
- Kleypas JA, Buddemeier RW, Archer D, Gattuso JP, Langdon C, Opdyke BN (1999) Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. *Science*, **284**, 118–120.
- Langdon C, Atkinson MJ (2005) Effect of elevated pCO₂ on photosynthesis and calcification of corals and interactions with seasonal change in temperature/irradiance and nutrient enrichment. *Journal of Geophysical Research*, **110**, C09S07.
- Li Y (李云), Xu ZL (徐兆礼), Gao Q (高倩) (2009) Effects of global warming on *Sagitta crassa* and *Sagitta enflata* (Chaetognatha) in the Changjiang Estuary during different years. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **29**, 4773–4780. (in Chinese with English abstract)
- Li YS (李玉尚) (2010) The prosperity of *Clupea pallasii* since 1600 and its ecological effects. *Agricultural History of China* (中国农史), (2), 10–21. (in Chinese with English abstract)
- Li YS (李玉尚) (2011) *The Abundant and Famine of the Sea: The Relationship Between the Fish in Yellow Sea and Bohai Sea and Environment Change (1368–1958)* (海有丰歉: 黄渤海的鱼类与环境变迁 (1368–1958)). Shanghai Jiao Tong University Press, Shanghai. (in Chinese)
- Li YS (李玉尚), Chen L (陈亮) (2009) Fluctuation and its causes of *Clupea pallasii* resources in the Bo Sea, Yellow Sea and East Coast of Korean Peninsula during the Ming Dynasty. *Agricultural History of China* (中国农史), (2), 8–21. (in Chinese with English abstract)
- Liang YB (梁玉波), Wang B (王斌) (2001) Alien marine species and their impacts in China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**, 458–465. (in Chinese with English abstract)
- Lin Q (林群), Jin XS (金显仕), Guo XW (郭学武), Zhang B (张波) (2009) Study on the structure and energy flow of the Yangtze River Estuary and adjacent waters ecosystem based on Ecopath model. *Journal of Hydroecology* (水生态学杂志), **2**(2), 28–36. (in Chinese with English abstract)
- Lin YS (林元烧) (2005) *Population Genetics of a Marine Copepod, *Calanus sinicus* Brodsky* (中华哲水蚤种群遗传学研究). PhD dissertation, Xiamen University, Xiamen. (in

- Chinese with English abstract)
- Liu J (刘静), Ning P (宁平) (2011) Species composition and faunal characteristics of fishes in the Yellow Sea. *Biodiversity Science* (生物多样性), **19**, 764–769. (in Chinese with English abstract)
- Liu RY (刘瑞玉) (2008) *Checklist of Marine Biota of China Seas* (中国海洋生物名录). Science Press, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- Liu RY (刘瑞玉) (2011) Progress of marine biodiversity studies in China seas. *Biodiversity Science* (生物多样性), **19**, 614–626. (in Chinese with English abstract)
- Liu YF (刘允芬) (2000) Study of the impact of climatic change on fishery production at coastal areas in China. *Agricultural Meteorology* (中国农业气象), **21**, 1–5, 28. (in Chinese with English abstract)
- Nie BF (聂宝符), Chen TG (陈特固), Liang MT (梁美桃) (1997) *Relationship Between Reef Coral and Environmental Changes of Nansha Islands and Their Adjacent Sea Areas* (南沙群岛及其邻近礁区造礁珊瑚与环境变化的关系). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Pauly D, Christensen V, Walters C (2000) Ecopath, Ecosim, and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. *Journal of Marine Science*, **57**, 697–706.
- Peterson AT, Ortega-Huerta MA, Bartly J, Sánchez-Cordero V, Soberón J, Buddemeier RH, Stockwell DRB (2002) Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, **416**, 626–629.
- Poulsen B (2008) *Dutch Herring: An Environmental History, C. 1600–1860*. Aksant Publishing, Amsterdam.
- Saenger P (2002) *Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation*. Kluwer Academic Publisher, The Netherlands.
- Shao KT (邵广昭) (2011) Ten years accomplishment of Census of Marine Life. *Biodiversity Science* (生物多样性), **19**, 627–634. (in Chinese)
- Steele JH, Collie JS, Bisagni JJ, Gifford DJ, Fogarty MJ, Link JS, Sullivan BK, Sieracki ME, Beet AR, Mountain DG, Durbin EG, Palka D, Stockhausen WT (2007) Balancing end-to-end budgets of the Georges Bank ecosystem. *Progress in Oceanography*, **74**, 423–448.
- Su JL (苏纪兰), Tang QS (唐启升) (2005) A new direction for China's research on marine ecosystems: international trend and national needs. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), **20**, 139–143. (in Chinese with English abstract)
- Tang QS (唐启升), Su JL (苏纪兰), Sun S (孙松), Zhang J (张经), Huang DJ (黄大吉), Jin XS (金显仕), Tong L (仝龄) (2005) A study of marine ecosystem dynamics in the coastal ocean of China. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), **20**, 1288–1299. (in Chinese with English abstract)
- The Marine Fisheries Resources of China Editorial Committee (《中国海洋渔业资源》编写组) (1990) *Marine Fisheries Resources of China* (中国海洋渔业资源). Zhejiang Science and Technology Press, Hangzhou. (in Chinese)
- The Second National Assessment Report on Climate Change Editorial Committee (第二次气候变化国家评估报告编写委员会) (2011) *The Second National Assessment Report on Climate Change* (第二次气候变化国家评估报告). Science Press, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC, Erasmus BFN, de Siqueira MF, Grainger A, Hannah L, Hughes L, Huntley B, van Jaarsveld AS, Midgley GF, Miles L, Ortega-Huerta MA, Townsend PA, Phillips OL, Williams SE (2004) Extinction risk from climate change. *Nature*, **427**, 145–148.
- Thomas CD, Lennon JJ (1999) Birds extend their range northwards. *Nature*, **399**, 213.
- Thuiller W, Lavorel S, Araujo MB, Sykes MT, Prentice IC (2005) Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, **102**, 8245–8250.
- Wang B (王斌) (2002) Progress of marine biodiversity conservation in China. *Ocean Development and Management* (海洋开发与管理), (3), 28–32. (in Chinese)
- Wang WG (王伟光), Zheng GG (郑国光) (eds) (2010) *Annual Report on Actions to Address Climate Change (2010): Challenges in Cancun and China's Actions* (应对气候变化报告(2010): 坎昆的挑战与中国的行动). Social Sciences Academic Press, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- Wang XH (王晓红), Li SY (李适宇), Peng RY (彭人勇) (2009) Establishment and comparative analysis of Ecopath model of ecosystem evolvement in northern continental shelf of South China Sea. *Marine Environmental Science* (海洋环境科学), **28**, 288–292. (in Chinese with English abstract)
- Wei XP (韦兴平), Shi F (石峰), Fan JF (樊景凤), Yang Q (杨青) (2011) Climate change impacts on marine lives and ecosystems. *Advances in Marine Science* (海洋科学进展), **29**, 241–252. (in Chinese with English abstract)
- Wu JG (吴建国), Lü JJ (吕佳佳), Ai L (艾丽) (2009) The impacts of climate change on the biodiversity: vulnerability and adaptation. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), **18**, 693–703. (in Chinese with English abstract)
- Wu J (吴军), Zhang CY (张称意), Xu HG (徐海根) (2011) Climate change issue in Convention on Biological Diversity: negotiations and focuses. *Biodiversity Science* (生物多样性), **19**, 400–403. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZM (吴增茂), Zhai XM (翟雪梅), Zhang ZN (张志南), Yu GY (俞光耀), Zhang XL (张新玲), Gao SH (高山红) (2001) Simulation analyses on the pelagic-benthic coupling ecosystem, Northern Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), **32**, 588–597. (in Chinese with English abstract)
- Xie ZH (2010) *China's Policies and Actions for Addressing Climate Change: The Progress Report 2010*. Social Sciences Academic Press, Beijing.
- Xu ZL (徐兆礼) (2011) The past and the future of zooplankton

- diversity studies in China Seas. *Biodiversity Science* (生物多样性), **19**, 635–645. (in Chinese with English abstract)
- Xu ZL, Ma ZL, Wu YM (2011) Peaked abundance of *Calanus sinicus* earlier shifted in the Changjiang River (Yangtze River) Estuary: a comparable study between 1959, 2002, and 2005. *Acta Oceanologica Sinica*, **30**, 84–91.
- Ye Y (叶勇), Lu CY (卢昌义), Zheng FZ (郑逢中), Tan FY (谭凤仪) (2004) Effects of simulated sea level rise on the mangrove *Kandelia candel*. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **24**, 2238–2244. (in Chinese with English abstract)
- Yu KF (余克服), Jiang MX (蒋明星), Cheng ZQ (程志强), Chen TG (陈特固) (2004) Latest forty two years' sea surface temperature change of Weizhou Island and its influence on coral reef ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**, 506–510. (in Chinese with English abstract)
- Zhang LS (张兰生), Fang XQ (方修琦), Ren GY (任国玉) (2011) *Global Change* (全球变化). Higher Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang SX (张素香), Li RJ (李瑞杰), Luo F (罗锋) (2006) Study and development of ocean ecosystem dynamics models. *Transactions of Oceanology and Limnology* (海洋与湖沼), **29**, 341–346. (in Chinese with English abstract)
- Zhang XM (张学敏), Shang SP (商少平), Zhang CY (张彩云), Lu ZB (卢振彬), Shang SL (商少凌), Li XD (李雪丁) (2005) Potential influence of sea surface temperature on the interannual fluctuation of the catch and the distribution of Chub Macherel and Round Scad in the Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground, China. *Marine Science Bulletin* (海洋通报), **24**(4), 91–96. (in Chinese with English abstract)
- Zhang YH (张远辉), Chen LQ (陈立奇) (2006) Response of coral reef in Nansha waters to increasing atmospheric CO₂. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), **25**, 68–76. (in Chinese with English abstract)
- Zhao L (赵蕾) (2008) Primary study on the relationship between climate change and marine fisheries. *Ocean Development and Management* (海洋开发与管理), (8), 87–93. (in Chinese)
- Zhao SH (赵绍华), Fang XD (房旭东), Xu J (许江), Zhong GC (钟贵才), Fan YB (范彦斌) (2011) New record of living scleractinian corals and preliminary discussion of their habitats in Pingtan Island, Fujian. In: *Proceedings of the 5th Young Marine Scientific Symposium* (第五届青年海洋科学研讨会论文集). Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration of China, Xiamen. (in Chinese with English abstract)
- Zhou QL (周秋麟), Yang SY (杨圣云) (1998a) Climate change and marine ecosystem (I). *Ocean Development and Management* (海洋开发与管理), (1), 45–49. (in Chinese)
- Zhou QL (周秋麟), Yang SY (杨圣云) (1998b) Climate change and marine ecosystem (II). *Ocean Development and Management* (海洋开发与管理), (2), 57–60. (in Chinese)
- Zhu C (朱诚), Xie ZR (谢志仁), Shen HY (申洪源) (2006) *An Introduction to Global Change Science* (全球变化科学导论). Nanjing University Press, Nanjing. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 李新正 责任编辑: 闫文杰)