

景观生态学:海洋生态系统研究的一个新视角

张庆忠¹, 陈庆义², 吴文良^{1*}

(1. 中国农业大学, 北京 100094; 2 大连水产学院, 大连 116023)

摘要: 全球海洋生态系统作为异质性的复杂巨系统是一类景观生态系统, 具有明显的等级结构, 因此, 景观生态学的原理和方法完全可以应用到海洋生态学的研究中来。生态系统的尺度限制了海洋生态学向更加宏观的方向进一步发展, 在景观的水平上, 运用景观生态学的理论和方法可以更好地在多个尺度上开展深入广泛的研究。本文不仅讨论了海洋景观的空间异质性, 而且就海洋景观生态学的若干研究方向进行了探讨。

关键词: 海洋; 海洋生态系统; 景观生态学; 异质性

Landscape ecology: a new perspective on the researches of marine ecosystem

ZHANG Qing-Zhong¹, CHEN Qing-Yi², WU Wen-Liang^{1*} (1. China Agricultural University, Beijing, 100094; 2 Dalian Fisheries College, Dalian, 116023). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 819~824.

Abstract: The global marine ecosystem as a giant heterogeneous and complex system is a landscape ecosystem with apparent hierarchical structure. It is reasonable to introduce the principles of landscape ecology to marine ecology. Now the scale of ecological study has been a restriction on the researches of marine ecology. The principles and methods of landscape ecology can be used to improve the researches of marine ecosystem in multiple scales.

Marine landscape has three environmental gradients in the world ocean scale, including the latitudinal gradient in magnitude and seasonality of the solar radiation change with latitudes; the coast to the open water gradient often coincided with the variation in nutrients and mixing depth; the depth gradient from the sea surface to the abyssal sea bed, in which the depth of the water column illuminated by sunlight has important ecological effect on marine organisms. According to these gradients, the world ocean can be divided into several different ecological systems. The pattern and gradients of ocean indicated that ocean has great spatial heterogeneity.

Several research directions of marine ecosystem based on the principles of landscape ecology were suggested, including the interaction among adjacent marine ecosystems, relation between the pattern and ecological process of ocean landscape, the impacts of global warming on marine landscape, and the protection of marine biodiversity.

Key words: ocean; marine ecosystem; landscape ecology; heterogeneity

文章编号: 1000-0933(2004)04-0819-06 中图分类号: Q149 文献标识码: A

世界海洋的总面积为 3.62 亿 km², 约占地球表面积的 71%, 平均深度 3800m, 空间总体积达 13.7 亿 km³, 比陆地和淡水中生命存在的空间大 300 倍, 从外部看上去, 地球更象一个广阔无垠的蔚蓝色“水球”^[1]。世界海洋作为全球景观生态系统中最大的斑块—基质, 其本身就是一个异质性的生态系统。因此在海洋生态学的宏观研究中不可避免地会遇到异质性的问题, 海洋生态学的实际研究已经逐渐超出了生态系统的尺度, 向更加广阔的尺度迈进。目前, 对海洋的认识大多还停留在生态系统的水平, 一些海洋生态学家研究一个复杂海洋生态系统内部子系统之间的相互关系时, 常用“生态系”的概念来表征子系统。生态系统的

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30270220)

收稿日期: 2003-07-17; 修订日期: 2004-01-18

作者简介: 张庆忠 (1974~), 男, 山东郓城人, 博士生, 主要从事农业生态学和生物地球化学循环的研究。E-mail: ecologyyouth@sohu.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: wuwenl@cau.edu.cn

Foundation item: The National Natural Science Foundation of China (No. 30270220)

Received date: 2003-07-17; Accepted date: 2004-01-18

Biography: 张庆忠, Ph. D. candidate, mainly engaged in agro-ecology and biogeochemical cycling. E-mail: ecologyyouth@sohu.

认识严重束缚了海洋生态学家对不同海洋系统之间相互作用的理解,以及在研究中景观生态学理论、方法和手段的应用。笔者认为有必要把景观生态学的概念、理论和方法引入到海洋生态学的研究中来,从而更好地认识海洋、研究海洋。

1 景观生态学的概念和内涵

关于景观(landscape)的定义有多种描述,但一般讲是指反映内陆地形地貌景色的图像,诸如草原、森林、山脉、湖泊等;或是某一地理区域的综合地形特征;或是人们放眼所映获的自然景色^[2]。可见景观最早是对陆地表面某一综合特征的描述,字根“land”也可为印证。到了近代,景观作为科学名词被引入生态学,在生态学中,景观可以是一个具体的地理单元,也可以看作是在任意尺度上空间异质性的表达^[3]。作为具体的一个地理单元,景观具有明确的边界和统一的外貌,可辨识性、空间重复性和异质性是其主要特征^[4]。也可以认为,景观是由多个生态系统构成的异质性地域,“景观”本身就具有“变化的异质性整体”的涵义,正是因为异质性才形成了景观内部的物质流、能量流和价值流,才导致了景观的演化、发展与动态平衡^[5~7]。

景观生态学是研究景观单元的类型组成、空间格局及其与生态学过程相互作用的综合性学科^[2,3],或者表述为:景观生态学是关于景观生态系统结构、功能及变化的研究^[8]。景观可视为异质性的热力系统,异质性是景观功能的基础,它决定空间格局的多样性,从这个意义上说,景观生态学就是研究空间异质性的维持和发展^[9,10],景观异质性是景观生态学的基本问题^[5],也是生态系统的核心因素^[3,10]。

与其他生态学科相比,景观生态学明确强调空间异质性、等级结构和尺度在研究生态学过程中的作用,以及人类活动对生态学系统的影响,尤其突出空间结构和生态过程在多个尺度上的相互作用^[11]。无论是从时间和空间上,还是从组织水平上而言,景观生态学的尺度域(domains of scale)都比其他学科要宽^[2]。

景观生态学自产生以来,便得到了飞速发展,因为现实自然界中的生态系统在空间上是具有格局的和缀块状的,并且是随时间变化的复杂系统^[12]。在普通生态学中,空间被假定为同质的,研究过程中的尺度也被强调为均质的,异质性被作为一种不受欢迎的复杂性。而景观生态学充分尊重生态系统的异质性,不仅要揭示景观要素之间的相互作用,而且竭力阐明大尺度下作为一个整体的基质行为^[3]。景观生态学在陆地生态系统的研究中得到了广泛的应用,如森林景观、草地景观、农田景观和城市景观等的研究。在海洋生态系统的研究中应用较少,从景观生态学的定义和内涵看,景观生态学的应用领域决不仅仅囿于陆地的范围,海洋作为空间异质性的复杂生态系统同样也可适用景观生态学。

2 海洋景观的空间异质性

空间异质性是指生态学过程和格局在空间分布上的不均匀性及其复杂性,一般可理解为空间缀块性和梯度的总和^[2,12~14]。

2.1 海洋景观的环境梯度

在世界大洋的尺度上,海洋有三大环境梯度,依据它们在生物学和生态学意义上的重要性排列,依次是:

(1) 纬度地带性——随纬度变化的水平梯度 由于太阳辐射的强度由赤道向两极逐渐减弱,季节差异逐渐增大,每日光照持续时间不同,从而直接影响光合作用的季节差异,这就形成了纬度地带性。纬度地带性最直接的表现是表层海水的温度由赤道向两极逐渐降低,等温线大致与纬线平行。

(2) 环陆地带性——水平方向上,从沿海向开阔大洋的梯度 环陆地带性是海洋受大陆的影响,随远离大陆程度的不同而出现规律性变化。陆源物质是海水中悬浮颗粒和海底沉积的重要来源,也是海洋植物所需养分的重要来源。因此靠近陆地的海域,营养物质丰富,海水透明度小,远离大陆的海域,营养物质贫乏,海水透明度高。而且海底沉积物从大陆向海盆中心方向也呈现规律性变化,表现为陆源碎屑粒度变细,沉积速率变小,相应的底质类型也由粉砂质粘土,变为深海粘土。另外,靠近大陆的海域水浅,波浪的垂直混合作用可以到达海底,远离大陆的海域水深,混合作用局限于表层,很难到达海底,不能将沉积于海底的养分带到上层。

(3) 垂直梯度——随深度变化的梯度 太阳光线照射到海面以后,一部分光线被反射,返回大气中,反射的光量取决于光线的入射角度。进入水体的那部分光被水体中的悬浮粒子进一步反射,剩下的被海水吸收,由于波长的不同,即使在最清澈的海水中,所有红光和紫光都在最表层几米深处被吸收了,蓝光和绿光能进入较深的水体,光强随海水深度的增加而减少,植物的光合作用也随之减弱,在补偿深度,光合作用率等于呼吸作用率。依据垂直方向上光照条件的变化,可将海水自上而下分为3个层次:透光层(euphotic zone)、弱光层(disphotic zone)和无光层(aphotic zone)^[1]。

海水温度也有垂直变化,一般随着海水深度增加,海水温度下降。在低、中、高纬度海洋,分别约在100~500m、15~40m和1000m以内深度范围内,温度急剧下降,出现温跃层^[1]。温跃层下,温度随着深度增加继续下降,但下降的速度很慢,结果直到海底水体都是等温的。在低纬度,表层水终年都很暖和,有常年的温跃层;在中纬度,表层水只在夏季是暖和的,温跃层也出现在夏季;在高纬度,表层水冷却产生对流混合,从而上下层温度差异不大,从表层到底层的温度范围约在-1.8~1.8℃之间。

2.2 海洋景观的数据

早在1963年,Воронов就根据海洋植物和动物区系将世界大洋划分了若干个生物地理区,这些生物地理区是:北极、北大

平洋、北大西洋、热带大西洋、热带印度洋—太平洋和南极区,每一个区可细分为近岸和远洋区^[15]。这可以看作最早的海洋景观思想的萌芽。

景观格局是景观异质性的具体表现^[13]。在世界大洋的尺度上,根据海洋环境的纬度梯度、垂直梯度和环陆地带性,可以把世界大洋景观生态系统划分成若干子系统。根据海洋表层水温的纬度梯度,可以把大洋分成热带海洋(tropical ocean)、暖温带海洋(warm temperate ocean)、冷温带海洋(cold temperate ocean)和极地海洋(polar ocean)。由于海洋生物对温度的耐受范围不同,在热带海洋、温带海洋和极地海洋中分布有不同的生物种类,进而形成不同的生物区系,和海洋环境一起构成了相对应的海洋生态系统。根据垂直梯度把海洋分成两个部分:水层生态系统(the pelagic ecosystem)和海底生态系统(the benthic ecosystem)。结合环陆地带性,世界大洋又可划分为5大类生态系统^[16]:滨海生态系统(the littoral ecosystem)、浅海生态系统(the neritic ecosystem)、大陆架生态系统(the continental shelf ecosystem)、远洋生态系统(the oceanic ecosystem)和深海生态系统(the abyssal ecosystem)。世界著名的大洋环流在北半球有:北赤道流、黑潮、北太平洋海流(西风漂流)、加利福尼亚海流、北大西洋海流以及湾流;在南半球有:南赤道流、东澳大利亚海流、西风漂流、本格拉海流、巴西海流和秘鲁海流;在赤道有赤道逆流^[17]。在世界大洋的尺度上,这些大洋环流不仅是热量和物质运输的通道,也是生物的通道,是大洋景观生态系统的廊道。

综上所述,世界海洋可以看作是由远洋为基质,近海各生态系统和岛屿为嵌块体,大洋环流为廊道构成的一个巨大的景观生态系统。这个巨大景观生态系统又可被划分成若干子系统,这些子系统仍然具有复杂的异质性,由于海水温度、盐度和透明度的不同,以及由于营养物质含量的差异导致的初级生产力的不同,进而导致食物链和食物网的差异,任一子系统仍可以看作由若干异质性的嵌块体构成,因此,这些子系统在本质上仍是景观生态系统,可见海洋景观生态系统具有典型的等级结构。

2.3 人类干扰海洋景观

人们生活在一个人类主导的地球上,人类活动不仅极大地改变了陆地景观,也改变了海洋景观,特别是近海景观。大约世界人口的60%聚集在沿海的100 km范围内,人类对海洋最具生产力的近海生态系统的影响是巨大的^[18]。全世界约50%的红树林生态系统遭到人为的破坏^[18];河口生态系统污染严重,成了陆源污染物质的集散地^[18];近海的海水养殖,人工沙滩,以及开采珊瑚礁都极大地改变或是破坏了近海的自然景观,形成人工或半人工景观。另外,生物入侵也对海洋景观产生重要影响。

3 景观生态学在海洋研究中的应用

3.1 相邻生态系统之间关系的研究

自然界中的任何生态系统都不是孤立的,相邻生态系统之间存在着物质、能量和信息的交换。一个系统对其他相邻系统的影响是多方面的和复杂的,因此要正确地把握相邻海洋生态系统之间能量、物质和信息的交换以及它们之间的相互关系,就需要用景观生态学的理论和方法,把这些相互作用的系统看作是景观的要素,从景观的尺度上去研究这些斑块之间的作用和关系。珊瑚礁生态系统(coral reef ecosystem)-海草生态系统(sea grass ecosystem)-红树林生态系统(mangrove ecosystem)之间相互关系的研究是一个很好的典范(图1)。红树林和海草阻挡淡水流向大海,使淡水中的有机物、无机物包括污染物质沉积下来,在珊瑚礁周围形成了清澈而且养分贫乏的海水,为珊瑚虫的生长提供了良好的环境条件。反过来,珊瑚礁作为海流和海浪的物理屏障,阻挡了海浪对海岸的冲刷,为海草和红树林的生长也营造了良好的环境^[20]。

关于生态交错带的研究也是景观生态学的一个重要方面。在海洋生态交错带,生物量和生物多样性均高于相邻的生态系统^[21]。同时海洋生态交错带生态因子分布不均匀,异质性比较高,比相邻的海洋生态系统对全球变化敏感,因此可能是研究海洋生态系统对全球变化响应机制的最佳切入点^[21]。

3.2 海洋景观格局与生态过程相互作用的研究

海洋景观格局是各种生态过程在不同尺度上共同作用的结果^[22]。弄清楚各种生态过程对景观格局的影响,是维持景观异质性的理论基础。陆源营养物质通过河口大量输送到海洋,近海水域富营养化问题突出,海水养殖进一步加剧了富营养化,导致近年来赤潮灾害频频发生。赤潮斑块的频频出现不仅短期改变了近海景观的格局,而且预示人类活动已经干扰了正常的生态过程。要预防和控制赤潮灾害,就必须弄明白上述各种生态过程是如何影响赤潮发生的。

反过来,景观格局控制着生态过程。一个典型的例子是,当厄尔尼诺海流出现的时候,暖和的表面水阻断了秘鲁近海的上升流,海底的营养盐无法到达表层,结果浮游生物大量消失,鱼的数量下降了,鸟类也少了,上升流生态系统遭到严重破坏^[23]。

3.3 全球气候变化对海洋生态系统的影响

全球气候变化是一个大尺度的问题,不同海洋生态系统受全球气候变化的影响程度不同,总的说来,沿岸和近海生态系统受到的影响大一些,远洋生态系统受到的影响小一些。全球变暖将会引起海平面的进一步上升,近百年来,海平面上升了10~20cm,科学家估计,到2050年全球海平面将升高0.3~0.5m,到2100年,甚至会升高1m之多^[24~26]。海平面上升对潮间带生态系统、湿地生态系统、河口生态系统的组成、结构和功能将产生影响^[27];海岸后退、飓风和海洋风暴潮增加以及潮汐、海流和波浪等水文环境的改变,将会加剧海岸的侵蚀,近海的海洋沉积发生改变,这势必对海洋底栖生态系统产生影响。全球变暖,海水

温度升高还会导致浮游生物死亡,珊瑚礁白化(bleaching)的频率增加^[28]。

因此研究全球变暖对海洋景观的影响,不仅要考虑全球变暖对海洋景观要素的影响,还要弄清楚海洋景观作为一个整体受到的影响。关于前者,已有不少的研究,成为当前海洋生态学的研究热点之一。而对于后者,目前还缺乏系统的研究。



图 1 红树林生态系统、海草生态系统和珊瑚礁生态系统的相互关系

Fig. 1 The connections between mangroves, sea grass beds and coral reefs

3.4 海洋生物多样性保护

景观生态学在生物多样性保护方面有自身的优势。景观生态学对异质性的认识和对尺度效应的考虑,以及岛屿生物地理学理论和复合种群理论等为生物多样性的保护提供了理论基础。生物保护曾经走过单个物种保护的路,事实证明这种保护途径的效果不如人意。海洋生物保护应从单纯的目标物种途径扩展到区域景观的途径,生物多样性的保护应当重视“Top-down”的研究途径,将人为干扰看作生物多样性丧失的主要因素,强调人为干扰下景观格局的改变对遗传多样性、物种多样性、生态系统多样性的影响,据此制定相应的海洋生物保护战略^[11]。

确定海洋保护区的范围需要从景观的尺度来考虑。大多数海洋生物在它们的生活史中有广为散布的阶段,再加上海流的时空大尺度性,也许我们会认为海洋生物幼体的散布非常强,在生态时间尺度上,海洋生物种群是开放的。Cowen 通过模型模拟的结果表明,在区域的尺度上,如果在模型中把海洋生物种群假定为开放的,据此制定的管理措施可能高估种群之间的交换,这种高估则可能导致下游生物资源管理安全性的错觉,基于种群之间有限流动的认识可使海洋保护得到更好的效果^[29]。因此,建立单个海洋保护区或是保护区的面积过小,都难以起到应有的保护作用。

尽管海洋生物种群在空间大尺度上不是完全开放的,但也不是孤立的,景观要素之间的生态流还是可以把海洋保护的收益外泄到保护区之外。禁渔措施不仅能够短期内增加海洋自然保护区内的生物量、生物丰度和捕获生物个体的平均大小,增加物种多样性,而且对临近海区也有影响^[30]。Callum 报道^[30],在佛罗里达和圣鲁西亚建立海洋保护区后的 5a 中,临近海区捕捞量增加了 46%~90%,数据的变动范围和所使用的渔具类型有关。

4 结语 万方数据

海洋生态系统在结构和功能上与陆地生态系统有所不同,系统之间相互作用的强度和物质能量交换的频度也不尽相同,因

此,景观生态学在海洋中的应用为海洋生态学的研究提供了一个新的视角,同时也丰富了景观生态学的内容。海洋是人类有待于开发和利用的在地球上最后的领域,应当得到人类的精心保护。运用景观生态学的理论和方法开展海洋研究,更好的理解海洋空间格局和生态过程之间的相互作用,是科学管理海洋、用好海洋资源,做到可持续利用的基础。

可以预言,在更大的尺度上研究海洋与大气以及海洋与陆地之间的相互作用中,景观生态学也会起到越来越大的作用。

References:

- [1] Shen G Y, Shi B Z. *Marine ecology*, 2nd ed. Beijing: Science Press, 2002.
- [2] Wu J G. Landscape ecology—concepts and theories. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, **19**(1): 42~52.
- [3] Pickett S T A, Cadenasso M L. Landscape ecology: Spatial heterogeneity in ecological systems, *Science*, 1995, **269**: 331~334.
- [4] Xiao D N, Li X W. On the target and principles of landscape planning. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, **17**(3): 46~52.
- [5] Zhao Y T, Yu X X, Guan W B. Review on landscape heterogeneity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, **13**(4): 495~500.
- [6] Qiu Y, Zhang J T, Zheng F Y. The kernel of landscape ecology: spatial and temporal heterogeneity in ecological systems. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, **19**(2): 42~49.
- [7] Forman R T T and Godron M. *Landscape ecology*. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- [8] Wang Y L. Landscape ecosystem and its factors. *Human Geography*, 1997, **12**(1): 1~5.
- [9] Xiao D N. Characteristics and methods of macroscopic ecological research. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1994, **5**(1): 95~102.
- [10] Xiao D N, Bu R C, Li X Z. Spatial ecology and landscape heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(5): 453~461.
- [11] Li X W, Hu Y M, Xiao D N. Landscape ecology and biodiversity conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(3): 399~407.
- [12] Chen Y F, Dong M. Spatial heterogeneity in ecological systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(2): 346~352.
- [13] Xiao D N. The formation and development of modern landscape. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, **19**(4): 379~384.
- [14] Wu J G. *Landscape ecology*. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [15] Леонтьев О К. *Physical geography of World Ocean*. Beijing: Higher Education Press, 1990.
- [16] Barnes R S K, Hughes R N. *An introduction to marine ecology*. Oxford London: Blackwell Scientific Publications, 1982.
- [17] Tang Y M. *Oceanography*. Beijing: China Agricultural Press, 1997. 116~119
- [18] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, *et al.* Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 1997, **277**: 494~499.
- [19] Khlebovich V V, Ivanov V V, Makeyev V M. Assessment aspect of contamination of the Arctic estuary ecosystems. *Pergamon*, 1997, **35**(7~12): 222~225.
- [20] Moberg F, Folke C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 1999, **29**: 215~233.
- [21] Chen S, Zhu M Y, Meng F, *et al.* Ecotone theory and its application to marine ecology. *Advance in Earth Sciences*, 1998, **13**(5): 431~437.
- [22] Wang A H, Zhang S Q, Zhang B. A study on the change of spatial pattern of wetland in the Sanjiang Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(2): 237~243.
- [23] Nybakken J W. *Marine biology: an ecological approach*, 3rd. New York: Harper Collins College Publishers, 1993.
- [24] Ren M E. relative sea level rise in Huang he, Chang Jiang and Zhu Jiang delta over the last 30 years and predication for the next 40 years (2030). *Acta Geographica Sinica*, 1993, **48**(5): 385~393.
- [25] Li P J. Response of cryosphere to global warming and reduced rise in sea level. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1994, **16**(3): 274~282.
- [26] Mo J. Five hot-spot problems on ocean science in recent times. *Marine Sciences*, 1996, **6**: 21~25.
- [27] Yang G S, Zhu X W. The content, methods and problems of the research on the impacts of global sea level rising. *Advance in Earth Sciences*, 1993, **8**(3): 70~76.
- [28] Nyström M, Folke C, Moberg F. Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment. *TREE*, 2000, **15**(10): 413~417.
- [29] Cowen R K, Lwiza K M M, Sponaugle, *et al.* Connectivity of marine populations: open or closed? *Science*, 2000, **287**: 857~859.
- [30] Callum M R, Bohnsack J A, Gell F, *et al.* Effects of marine reserves on adjacent fisheries. *Science*, 2001, **294**: 1920~1923.

参考文献:

- [1] 沈国英,施并章. 海洋生态学, 2nd. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 邬建国. 景观生态学——概念与理论. 生态学杂志, 2000, **19**(1): 42~52.
- [4] 肖笃宁, 李晓文. 试论景观规划的目标、任务和基本原则. 生态学杂志, 1998, **17**(3): 46~52.

[5] 赵玉涛,余新晓,关文彬. 景观异质性研究评述. 应用生态学报, 2002, **13**(4):495~500.

[6] 邱扬,张金屯,郑凤英. 景观生态学的核心:生态学系统的时空异质性. 生态学杂志, 2000, **19**(2):42~49.

[8] 王仰麟. 景观生态系统及其要素的理论分析. 人文地理, 1997, **12**(1):1~5.

[9] 肖笃宁. 宏观生态学研究的特点与方法. 应用生态学报, 1994, **5**(1):95~102.

[10] 肖笃宁,布仁仓,李秀珍. 生态空间理论与景观异质性. 生态学报, 1997, **17**(5):453~461.

[11] 李晓文,胡远满,肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护. 生态学报, 1999, **19**(3):399~407.

[12] 陈玉福,董鸣. 生态学系统的空间异质性. 生态学报, 2003, **23**(2):346~352.

[13] 肖笃宁. 论现代景观科学的形成与发展. 地理科学, 1999, **19**(4):379~384.

[14] 邬建国. 景观生态学. 北京:高等教育出版社,2000.

[15] Леонтьев О К. 世界大洋自然地理. 北京:高等教育出版社,1990.

[17] 唐逸民. 海洋学. 北京:中国农业出版社,1997. 116~119

[21] 陈尚,朱明远,孟凡,等. 生态交错带理论及其在海洋生态学中的应用. 地球科学进展, 1998, **13**(5):431~437.

[22] 汪爱华,张树清,张柏. 三江平原沼泽湿地景观空间格局变化. 生态学报, 2003, **23**(2):237~243.

[24] 任美镔. 黄河长江珠江三角洲近 30 年海平面上升趋势及 2030 年上升量预测. 地理学报, 1993, **48**(5):385~393.

[25] 李德基. 冷圈对全球变暖的响应与海面上升. 冰川冻土, 1994, **16**(3):274~282.

[26] 莫杰. 当今海洋科学五大热点问题. 海洋科学, 1996, **6**:21~25.

[27] 杨桂山,朱季文. 全球海平面上升影响研究的内容、方法与问题. 地球科学进展, 1993, **8**(3):70~76.

