

景观生态学在近海资源环境中的应用 ——论海洋景观生态学的发展

索安宁^{1,2}, 赵冬至¹, 葛剑平^{2,*}

(1. 国家海洋环境监测中心, 大连 116023; 2. 北京师范大学景观生态与可持续性发展科学研究中心, 北京 100875)

摘要:长期以来, 景观生态学研究主要集中于陆地景观生态研究, 并在土地利用、植被退化等方面取得了长足的进展, 而在海洋领域涉足颇少。论述了景观生态学在海洋赤潮景观、海洋溢油景观、海域使用景观、滨海湿地景观、海岛景观和海洋环境污染景观等方面的应用前景, 并就海洋景观生态学发展几点认识进行了深入探讨, 如海洋景观的均质性与异质性、海洋景观格局与生态过程的关系、边缘效应与海岸带、海洋景观评价与评估、海洋景观模型等, 目的是为景观生态学在海洋资源环境中的应用、海洋景观生态学的发展探索新的方向。

关键词:景观生态学; 海洋景观; 应用; 发展

文章编号: 1000-0933(2009)09-5098-08 中图分类号: Q149, Q178, X171 文献标识码: A

Application of landscape ecology in marine resources and environment: Discussion on oceanscape ecology development

SUO An-Ning^{1,2}, ZHAO Dong-Zhi¹, GE Jian-Ping^{2,*}

1 National Marine Environment Monitoring Center, Dalian 116023, China

2 Center for Landscape Ecology and Sustainability Science of Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 5098 ~ 5105.

Abstract: Landscape ecology research has long been focused on the terrestrial landscapes, and has reached great achievements in many aspects, such as land-uses and vegetation degradation, whereas few attentions have been on the landscape issues with marine background. In this article, we discussed the application of landscape ecology principles on marine algae bloom, marine oil spill, sea uses, coastal wetland ecological processes, island landscape and marine pollution, and ect. Particularly, our discussion emphasizes on (1) the heterogeneity of the oceanscape and the relationships between its spatial patterns and ecological processes operating at the corresponding scales, (2) the edge effects and coastal zone management, (3) assessment of the patterns of the oceanscape, (4) spatio-temporal modeling for marine ecological systems.

Key Words: landscape ecology; oceanscape; application; development

长期以来景观生态学研究主要集中于陆地土地利用/覆被变化与规划、植被变化与恢复、城市景观变化与规划、湿地景观变化与维持、旅游资源评价与开发、自然保护区设计与生物多样性保护等方面^[1,2~4], 并且在这些领域都取得了显著进展, 为社会经济发展、资源环境保护与开发提供了新的视角与方法。然而, 纵观国内外景观生态学的发展, 虽然有人提出了水域景观生态学 (aquatic landscape ecology) 和海洋景观生态学 (ocean-

基金项目: 国家海洋局 908 专项 (908-01-WY01); 国家海洋公益性行业重点项目 (200805064)

收稿日期: 2008-05-28; **修订日期:** 2008-12-10

致谢: 感谢肖笃宁、陈利顶先生对本文提出的建议。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Gejp@bnu.edu.cn; san720@sina.com

scape ecology) 的名词,但缺鲜见景观生态学在海洋资源环境领域的应用,海洋景观生态学迟迟没有得到发展^[5]。随着当前海洋资源的大力开发,海洋经济的快速发展,海洋资源开发与环境保护正面临着前所未有的理论与技术压力^[6]。景观生态学在海洋资源环境中有哪些作为,如何应用景观生态学理论和技术服务于海洋资源开发、海洋环境保护,发展海洋景观生态学,是当前景观生态学发展面临的一个重要挑战。本文将重点分析景观生态学在海洋赤潮灾害、海洋溢油灾害、海域使用、滨海湿地、海岛、海洋污染等方面中可能的应用领域,探讨海洋景观生态学的主要理论发展和这些理论的应用方向,为景观生态学在海洋资源环境评价中的应用,海洋景观生态学的发展探索广阔的领域。

1 景观生态学在海洋资源环境中的主要应用领域

1.1 海洋赤潮景观

海洋赤潮是海洋中某些浮游藻类、原生动物或细菌,在一定的环境条件下爆发性繁殖或聚集而引起海洋水体变色的一种有害生态异常现象^[7]。海洋赤潮不仅破坏海洋渔业资源和生产、恶化海洋环境、影响滨海旅游业,而且还会因误食被有害赤潮生物污染的海水产品而造成人体中毒、死亡。近年来,海洋赤潮灾害频繁发生,危害越来越大,已经成为工业化进程中沿海国家普遍面临的严重海洋环境灾害之一。

海洋赤潮是在正常海洋黄绿色水体景观基质上发生的褐色、棕红色、锈红色水色异常斑块镶嵌的海洋灾害景观^[7,8],赤潮斑块的颜色、形状、方位随赤潮藻种类型、赤潮生态过程和海域环境特征等发生着快速的变化,其空间尺度一般在几十平方公里到上万平方公里不等。与陆地各种景观类型相比,海洋赤潮景观是一种快速演变的景观类型,从海洋赤潮景观出现到其发育、发展、萎缩、消亡历时 10 ~ 100d 不等。

海洋赤潮景观具有发生空间范围大、演化速度快、生命周期短、驱动机制复杂、危害性大等特点,使得从景观生态学视角研究海洋赤潮空间格局演变、赤潮空间格局变化与驱动力关系、赤潮空间格局与赤潮生态过程之间的关系、赤潮空间格局演变的环境效应、赤潮发生模型等方面具有独特的优势。景观生态学的格局分析方法可以用来分析海洋赤潮发生过程中各种藻类斑块的空间形态、运移、演变等空间格局演变过程。景观指数分析方法可以用来量化海洋赤潮发生的空间特征,作为海洋赤潮灾害风险评估的量化手段。景观驱动力分析方法可以用来分析海洋赤潮灾害发生、发展的海域环境特征(温度、营养盐、洋流等)驱动机理。景观格局与生态过程关系分析方法可以用来分析海洋赤潮灾害的空间格局与海洋赤潮藻(菌)类发生的生态过程、海洋水文过程等多种海洋过程之间的关系,建立海洋赤潮景观格局与赤潮生态过程之间的耦合途径。景观评价分析方法可以用来进行海洋赤潮灾害的灾害、危害评估与评价。景观变化分析方法可以用来研究海洋赤潮灾害空间特征的演变过程。

近 10 多年来,国内外就海洋赤潮灾害问题,从海洋赤潮的发生成因、动态过程、发生规律、生物/生态过程、检测方法,海洋赤潮的光谱特征、遥感监测方法、灾害损失评估方法、赤潮管理等多方面展开了大量的实验、测试、研究工作。但纵观国内外的海洋赤潮研究,还没有从景观生态学视角来分析、研究、评价海洋赤潮灾害,探索从海洋赤潮景观尺度研究海洋赤潮灾害。

1.2 海洋污染景观

随着沿海经济的快速发展,海洋环境污染日趋严重。污染物在海洋中随着波浪、洋流、风流而不断扩散,在海域表面形成各种面积、形状不一的污染物分布区。不同的污染物在海洋表面的空间分布斑块镶嵌于正常的海洋表面基质上,就形成了海洋环境污染景观。海洋污染有很多种类型,如海洋溢油污染、海洋营养盐异常、海洋病菌污染、海洋化学污染、海洋热污染、海洋核辐射污染等,相应的也就形成了多种类型的海洋污染景观。由于各类海洋污染物的环境效应、扩散机理不同,其相应的污染景观格局演变过程、污染景观格局的环境效应、污染景观格局的驱动机制各不相同^[9,10],需要针对各种具体的海洋污染实例去深入探讨。

随着全球范围内大规模海洋石油开发和石油海运的迅速发展,大量的石油及其制成品进入海洋,形成海洋溢油。频繁发生的海洋溢油事件对海洋浮游生物、海洋鱼类、海洋底栖生物、海鸟及其人类自身造成了严重的危害。海洋溢油已成为与海洋赤潮灾害齐名的海洋环境污染灾害之一。

当发生海上溢油时,一部分石油及其制成品溶解和分散于海水中,一部分遇到海水后凝固成团状、片状、块状漂浮于海水之中,另一部分形成海面油膜,在风场、波浪场、洋流场等作用下逐步扩散成各种形状的油斑,漂浮于海面^[11]。海面油斑由于其石油及其制成品种类、成分、产地、油膜厚度等的差异,油斑色彩也呈黑褐色、黑色、蓝褐色、蓝色和彩虹色等各种不同的颜色^[12]。这些色彩不同的油斑镶嵌于海洋水体的黄绿色基质上,构成海洋溢油景观。海洋溢油景观变化主要是海面油斑的物理扩散、溶解、挥发过程以及海洋菌(藻)类的生物降解过程所驱动。

20 世纪 90 年代以来,遥感技术得到了较大的提高,卫星遥感、航空遥感、雷达遥感等遥感监测技术广泛的应用于海面溢油灾害的动态监测,获取了大量的海洋溢油图片和影像数据,提取了各类溢油灾害事件的油斑数量、油斑类型、油斑形状,油斑空间格局等较为详细的溢油灾害数据,建立了相应的海洋溢油灾害监测、评价与评估方法^[13]。由于缺乏详细的空间格局分析、评价、研究方法 with 理论,海洋溢油灾害的监测、评价与评估都是建立在油斑分布海域面积、油斑数量、油斑厚度、溢油类型等溢油空间特征的简单描述基础上,而没有从溢油灾害空间格局演变角度展开深层次的研究。

景观生态学着眼于空间格局、尺度变换、生态过程、驱动机制等方面的研究视角、理论体系与研究分析方法,为海洋溢油灾害的空间演变过程提供了较为完整的监测指标、分析评价方法、演变驱动机理和基于空间格局的灾害损失评估与评价方法,在海洋溢油灾害研究中具有广阔的应用领域。由于海洋溢油灾害景观具有类型相对较少,景观结构简单、景观格局演化速度快等特点,也可作为景观格局变化与驱动力研究、景观演变模型、尺度转换研究等方面的实验对象,推动景观生态学理论与应用的不断深化。

1.3 海域使用景观

随着世界范围内海洋经济的快速发展,许多自然海域被大面积的开发利用,各种海域使用类型在自然海域空间上镶嵌交错,构成海域使用景观。海域使用景观变化及其带来的生态环境效应和陆地上土地利用景观变化一样将越来越多的受到关注^[14,15]。与陆地地表各类具有光谱、纹理特征的土地利用景观斑块组成的空间镶嵌格局不同,海域使用景观是在相对均一的海洋自然水体景观基质基础上人为开发利用的各类海域使用类型组成的空间镶嵌体。在海域使用空间格局上,有些海域使用景观的斑块和陆地土地利用斑块一样存在明显的空间边界线,如盐田、围塘养殖、浮筏养殖、围海造田等;有些海域使用景观的斑块则是人类根据开发利用需要而专门划定的一定海面水域,不存在明显的斑块空间边界线,如航道、锚地等;还有一些海域使用景观的斑块在海面标记有一定的海域使用类型标记和边界线,但这些标记或标志由于目标相对比较小,在大景观尺度上很难看到这些目标,如滨海浴场、人工鱼礁、网箱养殖等。这种海域使用景观在空间表现上的复杂性,为海域使用景观数据的获取提出了许多技术难题,也就是这些技术难题一直阻碍着海域使用景观的研究和管理进一步发展,国内外在这方面鲜有报道。

随着海域使用范围的不断扩大,海域环境的不断恶化,海域使用领域迫切需要相关的监测、评价与研究方法的支持。景观生态学作为一门关注于空间格局与生态学过程的基础应用学科,其研究技术、分析方法和研究视角已经成功的应用于陆地土地利用变化及其生态过程的监测、评价与研究中,取得了显著的社会、经济和环境效果。借鉴景观生态学在陆地土地利用方面的成熟思路,可以发现景观生态学在海域使用景观现状监测,海域使用景观变化分析、海域使用变化的生态效应评价和研究、海域功能区划,海域开发利用规划等方面都存在着广泛的应用前景。

海域使用景观研究的主要难点在于海域使用空间数据的获取。遥感技术作为当前景观生态研究的主要数据获取方式之一,在海域使用景观数据获取上同样也十分重要,是围垦造田、围塘养殖、临海晒盐、浮筏养殖等许多海域使用类型的主要数据获取方式。对于那些通过遥感技术无法获取的海域使用类型信息,如港口、航道、锚地、底波养殖、海底工程等,地理信息系统、全球定位系统和其他图件也是重要的景观数据获取的补充方式。

1.4 滨海湿地景观

与其他海洋领域相比,滨海湿地是景观生态学涉足较早的研究领域之一,但滨海湿地研究的领域仅限于

河口湿地、红树林等少数滨海湿地类型^[16,17]。早在 20 世纪 80 年代,美国景观生态学者就关注到了河口湿地景观格局的研究,国内的景观生态学研究也是较早的开始于辽河三角洲湿地景观格局的研究^[18,19]。近 20 年来,滨海湿地景观生态学研究方面出现了大量的研究报道,国内在辽河三角洲湿地、黄河三角洲湿地、长江三角洲湿地、珠江三角洲湿地等大河河口进行了大量的潮上带景观格局变化与分析、景观变化驱动力、景观生态功能等方面的研究^[20,21],在红树林景观格局变化方面也有一些研究,但在海草床、珊瑚礁、滨海滩涂、海洋入侵物种等潮下带景观生态学研究方面较少^[5]。

可以看出,景观生态学在滨海湿地方面的应用主要集中在潮上带的河口湿地景观的实例研究,也有少量的红树林湿地景观研究,但是面对类型众多的滨海湿地景观,景观生态学还没有真正应用于滨海湿地空间格局演化的监测、评价和管理工作^[22~25]。虽然景观生态学中存在诸多用于描述空间格局的景观指数^[26],但是针对类型多样的滨海湿地及其特殊的环境空间特征,构建和选取哪些景观指数才能反映滨海湿地环境演化的空间过程,目前还缺乏深入的研究。因此,针对各类滨海湿地类型空间特征的特殊性,如何应用景观生态学对其进行监测评价与研究,是滨海湿地景观生态学亟待解决的问题。

1.5 海岛景观

传统的种群生态学研究主要集中在种群结构、发育动态以及种群在时空上的数量变动规律等方面,但是对于因生境空间异质性对种群结构的影响方面却很难做出有说服力的结论。随着景观生态学的发展,传统的生态学家越来越重视从景观生态学角度研究种群变化与空间格局的关系,例如复合种群理论、景观遗传理论、岛屿生物地理理论等,这些传统的生态学研究都与空间异质性有关^[27~29]。分布于广阔海面上的海岛、群岛,在海洋表面的空间分布格局,一方面影响着许多生物种群的相互交流。群岛上的很多生物种群,可能是研究复合种群理论、岛屿生态理论和最近兴起的景观遗传理论等生态学理论的理想试验区。景观生态学可以通过分析群岛的空间分布格局,将种群生态过程与海岛的景观空间格局结合起来,研究海岛之间的空间分布格局与海岛生物种群数量、种群质量、种群遗传之间的关系;另一方面海岛的空间分布格局也会影响着海岛资源的开发与保护。海岛的面积、距离大陆远近及其群岛的空间分布格局也会因其资源赋存数量、交通、通讯的便利性等直接影响到海岛资源开发的成本。

1.6 其他海洋景观

除上述的几种主要海洋景观类型外,还有由海洋生物集聚分布的生境斑块镶嵌而成的海洋生境景观;在中、高纬度由不同形状的海冰斑块与海面基质构成的海冰景观;由海洋温度、盐度、浊度的空间异质性形成海洋物理景观;由海洋风场、流场、潮汐场等动力作用导致的空间异质性而形成的海洋动力景观等。

可以看出,景观生态学在海洋资源环境的监测、评价、管理、规划与研究中具有很多应用领域,需要广大景观生态学者通过众多的海洋实例研究,去开拓和发展景观生态学在海洋资源环境中的应用,为海洋环境保护探索新的视角,也为景观生态学发展寻求新的活力。

2 关于海洋景观生态学发展的若干思考

海洋景观都是在性质相对均一的海洋自然水体基质上,由各类的性质(属性)不同的斑块构成的空间异质镶嵌体。由于海洋景观均是以海洋自然水体为基质,海洋自然水体因受风场、流场、潮汐场等动力作用处于不断的运动过程中。因此,海洋景观多具有空间尺度大、演化速度快,生命周期短、结构相对简单等特征。海洋景观的这些特殊性为海洋景观生态学的发展提出了新的方向,如海洋景观的均质性与异质性、尺度理论与海洋景观空间定位的重要性、边缘效应与海岸带管理、海洋景观格局变化与生态过程的关系、海洋景观动态演化、中性模型和渗透理论。

2.1 海洋景观的均质性与异质性

空间异质性(spatial heterogeneity)指生态学过程与格局在空间分布上的不均匀性及其复杂性^[30]。空间异质性在自然界中应用广泛,其涵义和用法也有许多种。在海洋资源环境中存在诸多空间异质性现象,主要表现为性质和质量各不相同海洋空间斑块镶嵌体。如许多海岛空间斑块镶嵌于海洋自然水面基质上,形成的

海洋群岛景观空间异质性;不同海域使用类型的空间斑块镶嵌于近岸自然海域水面,形成的海域使用景观空间异质性;各类海草类型在海洋均质水域中发育而成的各种形状不同的海草床斑块异质性。可以看出,海洋景观是海洋自然水体基质的均质性与海洋镶嵌斑块的异质性的结合,也是海洋景观斑块内部均质性与斑块与斑块、斑块与基质异质性的结合。产生海洋空间异质性的各类海洋斑块的类型组成、空间分布与配置关系形成海洋空间格局。海洋空间格局、海洋异质性和斑块性都可用于描述海洋景观的空间非均质性,但在概念和实际应用上又有所区别。

2.2 海洋景观格局与生态过程的关系

景观生态学中的格局,指斑块和其他组成类型、数目以及空间分布与配置等^[9]。景观格局可以通过一系列的景观指数和空间分析方法加以定量化^[30~32]。与格局不同,过程则强调事件或现象发生、发展的程序和动态过程。在海洋景观中,许多海洋景观格局直接体现着其相应的生态过程,而某些生态过程也直接控制着海洋景观格局的演化,景观格局与生态过程之间存在十分密切的关系。海洋景观格局一般可以通过遥感监测技术较容易获取。通过建立景观格局与生态过程间的关系,从海洋景观格局的变化来推断其功能和过程可能发生的变化,以反映海洋生态过程,是进行海洋生态环境监测管理的有效手段。为此,必须研究各类海洋景观格局与相应生态过程的关系,如海洋赤潮景观格局与赤潮生态过程、海洋溢油景观格局与油斑扩散过程、海域使用景观格局与海域开发过程、河口沼泽景观格局与湿地生态过程、红树林景观格局与红树林发育过程、珊瑚礁景观格局与珊瑚礁发育过程、海草床景观格局与海藻发育过程等。可以看出,海洋景观类型丰富多样,海洋生态过程错综复杂,加上许多海洋景观演化速度快,生命周期短,景观格局和生态过程关系复杂,这些将是海洋景观生态学研究的重要内容。

2.3 边缘效应与海岸带

边缘效应(edge effect)指斑块边缘部分由于受到外围影响而表现出与斑块中心部分不同的生态学特征的现象^[33]。斑块边缘部分由于受到来自相邻的两种斑块类型的多种影响,在气象条件、水文条件、物种组成、生物地球化学循环等很多方面都可能与斑块中心部分不同。在海洋资源环境领域,最为明显的边缘效应主要表现在海岸带、海岛岸带。海岸带、海岛岸带分别处于大陆斑块与海洋斑块、海岛斑块与海洋基质斑块之间的过渡地带。许多研究表明^[34~37],海岸带具有较高的物种多样性和初级生产力,是许多海陆两栖物种的集中分布区域和水产品的主要生产区,同时海岸带也是当前人类社会经济活动的主要集聚区^[38]。海岛的面积大小与海岛岸带的边缘效应密切相关,当海岛面积很小时,海岛内部与海岛岸带的环境分异就不复存在,整个海岛全部成为海岛岸带,均具有海岛岸带的边缘效应。

2.4 海洋景观评价与评估

景观生态评价是对景观生态现状进行评定,为景观规划,景观管理和景观保护提供基本依据^[38]。景观生态评价在近 20a 发展很快,从最初的定性评价阶段发展到现在的定量化、多学科交叉多功能评价^[39~42]。海洋景观评价与评估是对海洋资源环境从空间格局方面评价的重要方法。海洋景观评价以海洋景观的空间格局与质量为评价对象,以能够反映海洋景观格局代表的生态过程为目标,实现海洋景观格局与生态过程的耦合评价。通过对海洋景观的评价达到对各类海洋景观空间格局的深刻认识,实现对有害海洋景观格局进行有效的控制与消除,对有利海洋景观生态格局进行合理规划、整治与建设,推动海洋资源的可持续利用和海洋生态环境的稳定与平衡。海洋景观评价与评估包括各种海洋景观类型的空间分布形态评价,不同海洋景观格局的生态环境效应评价、各类海洋景观的质量(生物量、生产力)评价、海洋保护景观的受胁迫度评价、海洋景观的稳定度评价、各类海洋景观斑块的空间相关评价及其基于海洋景观格局与生态过程关系的海洋生态系统健康评价等。

2.5 海洋景观生态模型

模型和模拟方法是景观生态学研究的基本方法之一^[43~45]。景观模型可以在计算机上进行模拟试验,通过模拟和模型可对一些难以监测和试验的生态过程进行研究^[46~48]。许多海洋景观类型结构简单,演化速度

快, 生命周期短, 便于进行模拟预测。海洋景观模型一方面可以从空间格局角度研究景观空间模型, 即考虑景观空间位置变量的模拟模型。包括零假设模型(景观中性模型)、海洋景观空间动态模型、单一海洋景观个体行为模型和能反映主要生态因果过程的景观过程模型。另一方面是非空间海洋景观模型, 主要强调海洋生物反应的模型, 有模拟海洋物种迁移的廊道和非廊道模型, 海洋库模型和序列海洋生境模型等。

3 结语

在过去的 20a 里, 世界各国的景观生态学研究通过大量的理论与实践研究, 提出了景观生态学的一般原理与核心概念, 初步构筑出了景观生态学的理论框架。但这些理论和实践研究多集中于陆地土地利用、植被退化、景观规划等方面, 而对于海洋景观生态的研究为数很少, 仅有的海洋景观生态研究基本上都集中于滨海湿地潮上带景观研究。众所周知, 在地球上, 海洋占到整个地球总面积的 70% 以上。在这广阔的海洋水域, 同样存在着空间异质性和斑块性, 以及由此构成各类海洋景观和海洋生态过程。本文就景观生态学在海洋赤潮、海洋溢油、海域使用、滨海湿地、海岛、海洋环境污染等方面的应用进行了分析, 并结合海洋景观的特殊性, 对海洋景观生态学发展的主要方面做了探讨。本文仅对海洋景观生态学的发展进行了探讨, 如何将陆地景观生态学在实践和理论研究中构筑的理论与技术方法应用于海洋景观生态研究与管理, 发展海洋景观生态学是当前景观生态学面临的一项重要命题。

References:

- [1] Reh W, Seitz A. The influence of land use on the genetic structure of populations of the common frog (*Rana temporaria*). *Biological Conservation*, 1990, 54: 239 – 249.
- [2] Cao Y, Xiao D N, Zhao Y, *et al.* Analysis on landscape ecology literatures in China during recent ten years. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(3): 474 – 477.
- [3] Gergel S E, Turner M G. *Learning Landscape Ecology: a practical guide to concepts and techniques*. Springer Verlag, 2002.
- [4] O'Neill R V. *Theory in Landscape Ecology*. In: Wiens J A, Moss M R, eds. *Issues in landscape ecology*. Snowmass Village: International Association for Landscape Ecology, 1999. 1 – 5.
- [5] Li X Z, Hu Y M, He H S, *et al.* Study characteristics of international landscape ecology from 7th international landscape ecology conference. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2915 – 2916.
- [6] Zhu X D, Li Y F, Gui F. Analysis of disaster causes and reduction way in coastal zone of China. *Journal of Natural Disasters*, 2001, 10(4): 26 – 29.
- [7] Zhao D Z, Cong P F, Zhao L, *et al.* HABs dynamics process of Bohai in 1998. In: Zhao D Z. *Collected papers for HABs monitoring and assessment of Bohai*. Beijing: Marine Press, 2000.
- [8] Wu R Z, Ma Y. HABs spatial-temporal characteristics and cause analysis of Nanhai in last 20 years. *Journal of Marine Environment Science*, 2008, 27(1): 30 – 32.
- [9] Hazell D. Frog ecology in modified Australian landscapes: a review. *Wildlife Research*, 2003, 30(3): 193 – 2051.
- [10] Zhao D Z, Zhang C Z, Xu H Z. *Studies on techniques for oil spill in ocean*. Beijing: Marine Press, 2006.
- [11] Trenham PC, Shaffer H B. Amphibian up land habitat use and its consequences for population viability. *Ecological Applications*, 2005, 15(4): 1158 – 11681.
- [12] Jane F A. An environment assessment and oil spill response plan for the Humer Estuary, United kingdom, Oil Spill Conference, 1985. 81 – 85.
- [13] Goncharov V K, Klemmentevan Y U. Investigation of the oil spreading feature in the deep sea and of conditions oil emerging on sea surface. *Okeanologiya*, 1993, 33(6): 856 – 862.
- [14] Yu Q S, Qi L M. *Studies on assessment theory of sea fields*. Beijing: Marine Press, 2006.
- [15] Wang T M. *Issues on sea fields using management*. Beijing: Marine Press, 2002.
- [16] Li X Z, Xiao D N, Hu Y M. Effect of wetland landscape pattern on nutrient reduction in the Liaohe Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(1): 32 – 43.
- [17] Wang S G, Li X, Liu K, *et al.* Analysis of Mangrove landscape pattern of Qiao island in last 20 years. *Geography and Geographica Information Science*, 2005, 21(2): 53 – 57.
- [18] Turner M G, Gardner R H, O'Neill R V. *Landscape ecology in theory and practice*. New York: Springer verlag, 2001.
- [19] Wang X L, Xiao D N, Bu R C. Analysis of landscape pattern of Liaohe delta. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(3): 318 – 323.

- [20] Bu R C, Wang X L, Xiao D N. Analysis of patched and composition of landscape in Yellow River delta. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(3):321—324.
- [21] Xiao D N, Hu Y M, Li X Z, *et al.* Research on landscape ecology of estuarine wetland of Bohai coastal zone. Beijing: Science Press, 2001.
- [22] Zeng H, Shao N, Guo Q H. Research on landscape heterogeneity of Changping region in east of Zhujiang delta. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 21(3):1542—1550.
- [23] Xiao D N, Li X Z. Frontiers and future strategies of landscape ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8):1615—1621.
- [24] Li X W, Xiao D N, Hu Y M. The analysis and evaluation of landscape scenarios in the Liaohe River delta wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2):224—232.
- [25] Li H M. Restoration of Mangrove environment of salt background. *Resources Science*, 2005, 27(2):116—120.
- [26] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. Studies on classification, application and construction of landscape index. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(1):121—125.
- [27] Fu B J, Lv Y H, Chen L D, *et al.* New progress of international landscape ecology research. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 42(2):1123—1130.
- [28] Cushman SA, McGarigal K. Hierarchical, multi-scale decomposition of species environment relationships. *Landscape Ecology*, 2003, 17: 637—646.
- [29] Funk WC, Greene AE, Corn PS, Allendorf FW. High dispersal in a frog species suggests that it is vulnerable to habitat fragmentation. *Biology Letters*, 2005, 1: 13—16.
- [30] Frohn R C. Remote sensing for landscape ecology: new metric indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystem. CRC Press, Boca Raton, 1997.
- [31] Wiens J A. Ecological mechanisms and landscape ecology. *Oikos*, 1993, 66:369—380.
- [32] Turner M G and R H Gardner(eds). Quantitative method in landscape ecology. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [33] Forman, E T, *et al.* Landscape Ecology principles in landscape architecture and land use planning. Washington DC: Island Press, 1996.
- [34] Lalli C M and T R Parsons. Biological oceanography: an introduction. New York: Pergamon Press, 1993.
- [35] Dawes C J. Marine Botany. A Wiley—Interscience Publication, 1981.
- [36] Nakao T. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and Yellow Sea. *Journal of the Faculty of Marine and Technology Tokai University*, Special Number, 1977. 199—367.
- [37] Ye S F, Ding D W, Wang W H. Large-scale estuarine engineering and estuarine habitat fragmentation of water body in the Yangtze River Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2): 268—272.
- [38] Peng J, Wang Y L, Liu S, *et al.* Assessment of landscape ecology on land use of coastal zone. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3):363—371.
- [39] Carey P D, Short C, Morris C, *et al.* The multi-disciplinary evaluation of a national agri-environment scheme. *Journal of Environmental Management*, 2003, 69(1):71—91.
- [40] Costanza R, Arge R. The value of the world's ecosystem services and nature capital. *Nature*, 1997, 387(15), 253—260.
- [41] Gretchen C D. Nature's services, societal dependence on natural ecosystems. Washington DC: Island Press, 1997. 175—178.
- [42] Ouyang Z Y, Wang R S. Ecosystem services and their sustainable development. In: The study of society-economic-nature compound ecosystem sustainable development. Beijing: Chinese Environment Science Press, 1999. 84—88.
- [43] Wu J G. Island bio-geographical theory: models and application. *Chinese Journal of Ecology*, 1989, 8(6):34—39.
- [44] Wu J and J L Vankat. Island biogeography: theory and applications. In: W A Nierenberg ed. *Encyclopedia of Environment Biology*, Vol II, New York: Academic Press, 1995. 371—379.
- [45] Wu J G. The key research topics in landscape ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9):2074—2076.
- [46] Gardner R H. Neutral models for the analysis of broad-scale landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1987, 1:19—28.
- [47] Gardner R H. A percolation model of ecological flows. In: A J Hansen and F di Castri eds. *Landscape Boundaries: Consequences for Biotic Diversity and Ecological flows*. Springer Verlag, New York, 1992. 259—269.
- [48] Wu J G. Landscape ecology: concepts and theories, 2000.

参考文献:

- [2] 曹宇, 肖笃宁, 赵羿, 等. 近十年中国景观生态学文献分析. *应用生态学报*, 2001, 12(3):474—477.
- [5] 李秀珍, 胡远满, 贺红土, 等. 从第七界国际景观生态学大会看当前国际景观生态学研究的特点. *应用生态学报*, 2007, 18(12):2915—2916.
- [6] 朱晓东, 李扬帆, 桂峰. 我国海岸带灾害成因分析与减灾对策. *自然灾害学报*, 2001, 10(4):26—29.
- [7] 赵冬至, 丛丕福, 赵玲, 等. 1998 年渤海赤潮动态过程研究. 见: 赵冬至. 渤海赤潮灾害监测与评价研究文集. 北京: 海洋出版社, 2000.

- [8] 吴瑞贞,马毅. 近 20a 南海赤潮的时空分布特征与原因分析. 海洋环境科学, 2008, 27(1):30~32.
- [10] 赵冬至,张存智,徐恒振. 海洋溢油灾害应急响应技术研究. 北京:海洋出版社, 2006.
- [14] 于青松,齐连明. 海域评估理论研究. 北京:海洋出版社, 2006.
- [15] 王铁民. 海域使用管理探究. 北京:海洋出版社, 2002.
- [16] 李秀珍,肖笃宁,胡远满. 辽河三角洲湿地景观格局的营养衰减效应. 地理学报, 2001, 56(1):32~43.
- [17] 王树功,黎夏,刘凯,等. 近 20a 淇澳岛红树林湿地景观格局分析. 地理与地理信息科学, 2005, 21(2):53~57.
- [19] 王宪礼,肖笃宁,布仁仓. 辽河三角洲景观格局分析. 生态学报, 1997, 17(3):318~323.
- [20] 布仁仓,王宪礼,肖笃宁. 黄河三角洲景观组成与破碎化分析. 应用生态学报, 1999, 10(3):321~324.
- [21] 肖笃宁,胡远满,李秀珍,等. 环渤海湿地三角洲景观生态研究. 北京:科学出版社, 2001.
- [22] 曾辉,邵楠,郭庆华. 珠江三角洲东部常平地区景观异质性研究. 地理学报, 1999, 21(3):1542~1550.
- [23] 肖笃宁,李秀珍. 景观生态学的学科前沿和发展战略. 生态学报, 2003, 23(8):1615~1621.
- [24] 李晓文,肖笃宁,胡远满. 辽东湾滨海湿地景观规划预案分析与评价. 生态学报, 2002, 22(2):224~232.
- [25] 李鸿鸣. 盐质基地红树林生态环境复育. 资源科学, 2005, 27(2):116~120.
- [26] 陈文波,肖笃宁,李秀珍. 景观指数分类、应用与构建研究. 应用生态学报, 2002, 13(1):121~125.
- [27] 傅伯杰,吕一河,陈利顶,等. 国际景观生态学研究新进展. 生态学报, 2008, 42(2):1123~1130.
- [37] 叶属峰,丁德文,王文华. 长江河口大型工程与水体生境破碎化. 生态学报, 2005, 25(2):268~272.
- [38] 彭建,王仰麟,刘松,等. 海岸带土地利用景观生态评价. 地理学报, 2003, 58(3):363~371.
- [42] 欧阳志云,王如松. 生态系统服务与可持续发展. 见:自然社会经济复合生态系统持续发展. 北京:中国环境科学出版社, 1999. 84~88.
- [43] 邬建国. 岛屿生物地理学理论——模型与应用. 生态学杂志, 1989, 8(6):34~39.
- [45] 邬建国. 景观生态学的十大研究论题. 生态学报, 2004, 24(9):2074~2076.
- [48] 邬建国. 景观生态学——概念与理论. 生态学杂志, 2000, 19(1):42~52.