

生态适宜性研究综述^{*}

向芸芸,杨辉,周鑫,黄伟,陈培雄

(国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

摘 要:生态适宜性研究是解决区域生态—环境问题,平衡资源保护与开发利用间的矛盾,维持生态系统结构和过程的完整性,实现区域发展协调可持续的重要技术方法之一,也是地理学、生态学、环境经济学和管理学等学科研究的热点。基于国内外相关研究进展,文章论述了生态适宜性的概念内涵及其理论演化过程;评述了陆域生态适宜性研究的典型方法,即生态因子叠置法、逻辑规则组合法和格局—过程模型法的适用性和优缺点;归纳了国内外海洋生态系统管理及与海洋生态适宜性相关的研究进展,提出了海洋生态适宜性的概念、内涵;最后总结了目前生态适宜性研究存在的主要问题及未来发展方向。研究结果对基于生态系统的海洋综合管理理论体系的构建和实际应用,以及维护海洋生态安全具有重要的意义。

关键词:生态适宜性;海洋生态系统;海洋资源与环境;海洋综合管理

中图分类号:X826;P7

文献标志码:A

文章编号:1005—9857(2015)08—0076—09

近几十年,随着人口数量的急剧增加和经济规模的高速发展,人地矛盾、陆海矛盾日趋尖锐,主要表现为自然资源衰退加剧、海陆生态系统失衡、生态环境质量恶化以及生物多样性损失等问题^[1],对人类活动和经济发展的不利影响日益凸显。生态系统安全问题已经成为当代生态学和资源与环境科学研究的热点领域,也愈来愈受到大众的普遍关注^[2]。区域生态安全状况一方面受区域水文、地形、气候和土壤等自然要素的影响,具有潜在的敏感性和地区脆弱性,容易在自然演替过程中发生系统退化;另一方面受人类开发活动的正向或负向干扰,如资源开发、城市化、围填海、经济转型与社会发展等导致的生态系统结构和功能的改变等,尤其是不合理的资源开发利用方式已成为威胁区域生态安全的直接诱导因子^[3-4]。因此,开展区域生态适宜性研究,控制生态环境问题,维持生态系统结构、功能和过程的健康,促进自然—经济—社会复合系统的可持续发展,已经成为当前国内外研究的重要方向和热点课题。

海洋是重要的蓝色国土,是区域可持续发展的重要支撑空间^[5]。目前,海洋资源的开发、建

设、保护与管理尚未真正建立在资源环境潜力和承载力的分析和评价的基础上,区域社会经济尚未形成科学的发展模式,部分地区海岸带资源、环境、生态问题突出,局部地区海洋生态系统破坏严重。随着人口、经济日益趋海移动,海洋生态系统功能的损失有可能导致灾难性的后果^[6-7]。因此,与全球变化关系密切的海洋生态安全研究亟待深入。本研究结合国内外陆域生态适宜性评价和管理的相关文献,总结现有生态适宜性研究的特点和存在的问题,提出海洋生态适宜性的概念、内涵及研究的重点和方向。

1 生态适宜性的概念和内涵

生态适宜性是指由区域生态系统具有的气象水文、地质结构、地形地貌、土地资源、矿产资源和动植物等自然属性以及景观、文化等人文特征所决定的,对某种持续性用途的适宜或限定性程度^[8]。在区域发展的综合性和资源用途的多样化的背景下,生态适宜性分析将生态规划的理论和技术与适宜性评价结合起来,借助生态组成要素的价值对给定资源开发利用方式的适宜程度进行评估,从发展可持续的角度反映区域生态

^{*} 基金项目:海洋公益性行业科研专项经费资助项目“海洋生态红线区划管理技术集成研究与应用”(201405007)。

系统的资源基础优势和社会经济的本底条件^[9]。通过对特定生态系统的自然要素和社会经济属性等因子的量化,生态适宜性分析旨在评价区域综合系统的合理承载力和未来发展潜力,因地制宜地给出资源与环境质量在符合生态学规律下的评价和地域分布,并在生态系统可载和生态功能可恢复的限度内优化资源开发利用的时间和空间结构;确定区内资源利用方向和优化利用方式,协调人类社会经济活动与自然生态过程间的关系,以从区域开发建设的根源上控制和减少人类活动对于生态系统的消极影响;指导区域生态环境功能区的划分,布局区域内农业、工业、服务业、居住、交通等各项人类活动;最终构建具有和谐的生态系统结构、适宜的资源利用方式、优良的生态环境质量和优化的区域综合效益的利用模式,实现地尽其利,物得其所,生态系统良性循环,促进区域开发和生态保护的协调发展。

2 陆域生态适宜性研究概况

2.1 国际研究进展

“生态适宜性”这一名词最初出现于土地资源利用与规划领域,是由美国景观设计师 McHarg 及其同事提出并赋予实践的,他们利用简单的叠置方法定性分析了纽约斯塔滕岛(Staten Island)对自然环境保护、景观游憩(积极和消极游憩两个方面)、住宅建设、商服及工业开发等 5 种用地方式的适宜情况,制作了保护—游憩—城市化地区综合适合度图,并在此基础上逐渐发展起了以地图叠置为主要特征的生态适宜性分析方法及生态规划流程^[8];20 世纪 70 年代,联合国教科文组织(UNESCO)在“人与生物圈计划”中明确提出,要将生态学理论作为城市规划和建设的指导理论,从生态可持续的角度来关注整个城市或更大范围内的生态过程,这使生态适宜性评价从农用地评价扩大到城乡规划领域,由概念性的形态描述发展为量化的综合分析,如 Longlin 和 Pearce 在地图叠置法的基础上提出了以权重和评分代替等权叠加的线性组合法,并将其应用于城乡建设用地的生态适宜性分析;Westman^[10]在此基础上,进一步细分出坡度、土壤质地和排水性 3 个微观尺度上的生态因子,对住宅建设的生态适宜性开展了半定量化的研究。这

一时期,生态适宜性研究开始由早期的简单定性描述发展到半定量的评价阶段,但其研究视角尚未转到区域发展的整体性和综合性上。

20 世纪 90 年代,很多发达国家提出了“都市区生态功能区划”的概念,并将生态适宜性评价技术较好地运用其中,广泛应用到诸如农业^[11]、物种栖息地^[12]、地质适宜性^[13]、公共基础设施选址^[14]、城市扩张^[15]、环境影响评价^[16]和景观规划^[17]等方面,先后建立起了因子组合法、整体组合法、数理统计法、因素分析法和逻辑规则法等评价方法。典型的如:美国组织进行的南加利福尼亚的城市区域用地功能分区、英国编制的伦敦市宏观生态规划、日本的东京湾都市区生态功能区划等^[18],都是对区域生态资源的综合评价,将城镇发展在生态资源的时空尺度上进行了整合,也将生态适宜性研究扩展为协调和优化区域生态保护与发展间关系的重要工具。

景观生态学为区域的生态适宜性分析提供了一个全新的视角。通过景观格局及其变化的空间和动态分析,形成了一系列表述和分析景观格局的空间指标及模型方法,为评价区域生态适宜性提供了理论支持。而空间分析技术的发展及优化配置理论的完善则进一步充实了评价技术体系,非线性理论^[19]、模糊综合理论^[20]、灰色聚类理论^[21],人工神经网络^[22]等先后被引入生态适宜性评价模型的构建当中。地理信息系统技术(GIS)与生态学理论的耦合成为当代生态适宜性评价技术发展的主流,很大程度上增加了评价结果的客观程度与科学合理程度。近 10 年来,格局—过程分析的思想被引入自然资源管理的研究中,国外对生态适宜性评价的探究开始转向不同时空尺度下机制与信息的提炼,侧重分析土地价值在景观水平生态过程中的演进规律,试图将生态学原理和方法与不同的规划目标相结合,构建了一系列格局—过程耦合模型^[23]。

2.2 国内研究进展

相较之下,国内的生态适宜性研究侧重于农业生态系统的适宜性评价,20 世纪 80 年代在《土地评价纲要》的指导下,陆续开展了国家和区域宏观尺度下的农用地适宜性分析,并构建起了土地资源适宜性评估的五级框架标准^[24]。2003 年,国家颁布了《生态省、生态市、生态县建设指

标》，将适宜性研究的重心从农业生态系统转移到了区域综合发展领域，并在全国范围内开展了以区域环评和城市生态规划为目的的生态适宜性分析，研究方法也由简单的半定量指标评价发展为入地复合模型的综合量化。如，陈昌勇等^[25]从 pH 值、坡度等单因子出发，建立了多维度的生态评价体系，并应用于沈阳市的土地生态适宜度分析；赵珂等^[26]构建了水土流失、土地沙化、水环境质量、土壤质量和生态敏感性等复合生态指数，用于安阳市的生态环境影响评价和区域规划中。近年来，随着国家“国土主体功能区”概念的提出，生态适宜性评价被广泛地应用到区域主体功能区规划过程中：如蒙莉娜等改进了欧阳志云^[27]提出的生态位适宜度模型，探究了自然资源的现实生态位和需求生态位之间的承接关系，从农业发展生态位、城镇发展生态位、产业园区生态位和生态环境生态位 4 个方面建立起了济南市土地利用功能分区模型，从生态适宜度评价的角度开展了功能区划分的实证研究；刘毅、史培军等^[28-29]基于逻辑组合规则的原理，在资源可持续分类矩阵的基础上建立起了区域生态功能区发展空间评价方法，从开发利用的限制程度等级（重点、优化、限制和禁止）将城市生态适宜空间划分为 4 类发展区域；赵明月等将城市复合生态系统理论及生态适宜性研究引入到城市人居环境评价当中，构建了包括自然、人文和经济的多维评价体系，并基于压力—状态—响应模型和熵权综合法对大连市进行了实证分析；还有学者将数理统计法（如聚类分析、主成分分析、层次分析、模糊数学和灰色系统关联度等）与空间分析技术（如元胞自动机、最小累积阻力模型和空间自组织模型等）进行了耦合，建立起了特定地域功能区划分的复合评价模型^[30-33]。

2.3 典型生态适宜性评价方法

2.3.1 生态因子叠置法

生态因子叠置法源于 McHarg^[8]提出的以生态因素叠合为特征的定性分析法，即用一系列的自然、经济或社会等条件不断筛选掉不满足既定要求的区域，直至最终留下符合所设定的全部规则的地域分布；进而发展成为传统的“自下而上”的景观评价方法，即基于实地资源调查或遥感资料，定性分析各同质小区对特定利用方式的适宜

性等级；随着生态学理论的完善和计算机技术水平的提高，以单因素专题图叠合为主要特征的生态因子叠置法逐渐发展起来，并先后经历了等权叠加、加权叠加和生态因子组合 3 个阶段，可分别用式(1)、式(2)、式(3)表示。其中，生态因子的组合方式又可以进一步分为非层次和层次方式：前者即将所有因子直接加权叠加，适用于判断因子较少的情况；后者则是采用有一定层次结构的因子组合体系，适用于复杂因子的叠加情况。

$$Q = \sum_{j=1}^k e_j \tag{1}$$

$$Q = \sum_{j=1}^k e_j \times w_j \tag{2}$$

$$Q = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^k e_{ji} \times w_{ji}) \times \mu_i \tag{3}$$

式中：Q 表示区域生态适宜度的评价结果； e_j 为单因子评价价值； k 表示生态因子的数量； n 代表评价指标的维度数； e_{ji} 为区内第 j 个生态因子在评价第 i 个指标的适宜度值； w_{ji} 为因子 j 对于指标 i 的权重； μ_i 为指标 i 在适宜度总体评价中的权重。

2.3.2 逻辑规则组合法

针对上述“生态因子叠置法”中存在的确定评价因子权重的困难，逻辑规则组合法逐渐发展起来。该方法试图根据逻辑组合分类的原理建立判断准则，来量化各生态因素间的复杂关系，从而构建起生态适宜性的分析准则，对资源的生态价值和社会经济价值需求进行不同方式的两两组合，据此来判断资源的合理利用程度，最终对其开发利用的生态适宜性进行评价。代表性的为 JU 的土地资源适宜性评价分类矩阵，该矩阵依据逻辑规则的组合分类原理，首先分别从生态学价值和社会经济需求两个方面出发，将城市土地分成低、中、高、很高 4 个等级，进而制定不同等级间两两组合的适宜性和限定性准则，据此判定区内各地块的生态适宜性^[18]；国内的史培军等^[29]继承了上述组合与分类分析的思想，同样基于自然生态和社会经济两个维度的独立评估，建立起了土地可持续利用分类组合矩阵，并最终落脚到城市生态主体功能区的划分上；刘毅、李天威等^[28]完善了该分类矩阵，直接将城市发展空间

划分为生态功能分区和开发建设适宜性分区两个方面,并细化二者内部的适宜性等级,在考虑现阶段发展状况的基础上,构建起了满足不同生态适宜目标的逻辑规则评价体系(图 1)。

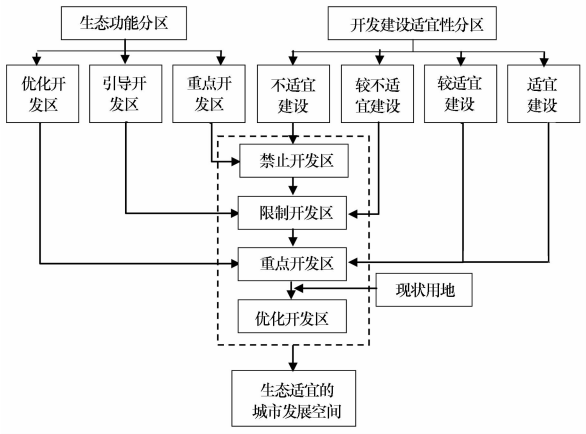


图 1 区域生态适宜性逻辑规则组合评价体系

2.3.3 格局—过程模型法

景观生态学的理论认为,格局与生态过程构成了自然界景观资源的整体动态。其中,格局是各生态过程自发或相互作用、相互驱动的结果:生态过程的变动会引发相应的格局响应模式,而格局的变化也会使生态过程产生一连串的变化,因此,适宜的格局—过程模型是解释生态系统变化过程、度量区域景观资源的生态学特征的重要方法。该评价方法的发展基于相关空间处理技术的引入,旨在通过考虑土地在景观水平生态过程中的流动或相互作用,建立相应的生态适宜性过程模型。从而部分克服前述几种方法中数据的不连续性、评价的主观性以及量化可信度等方面的弊端:例如解决适宜性界限的不确定性问题的可拓性原理,解决多因素、多指标综合问题的模糊数学理论,用于非线性的适宜性分析的遗传算法,模拟区域生态经济复合系统发展需求的生态位适宜度模型(图 2),模拟生态系统水平演变过程的最小累积阻力模型,模拟区域景观在时间上的动态变化过程的马尔科夫链和元胞自动机模型,表征景观空间异质性的景观格局指数,以及实现系统自组织调整和适应性分析的人工神经网络等。格局—过程模型通过最大限度地综合不同时空尺度上有限的实验或者观测数据,揭

示景观格局与水平生态过程的内在机制,为生态适宜性评价方法的完善提供了丰富的支撑。

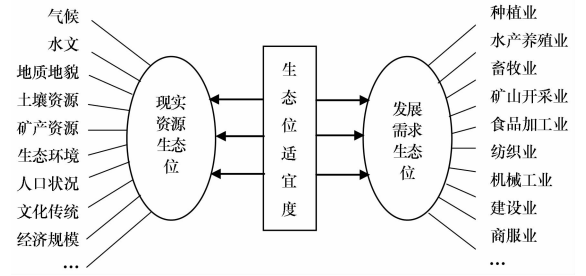


图 2 生态位适宜度评价模型框架

注:某种特定开发利用方式对资源需求所构成的 n 维资源空间称为该方式下的资源需求生态位,简称需求生态位;资源的现实状况也构成对应的资源空间,称为现实资源生态位,简称现实生态位;通过量化现实生态位和需求生态位之间的匹配关系,就得到区域现状资源条件对发展的适宜性程度。

2.3.4 典型评价方法比较

总结比较陆域生态适宜性评价的 3 种典型方法如表 1 所示,生态因子叠置法的基本原理是将自然环境、社会经济等不同量纲的因素通过数学叠加成综合评价图,其运算公式简单,形象直观,且能方便地通过地理信息系统软件(GIS)中的地图代数、空间分析等工具箱实现,因此成为目前应用范围最广的陆域生态适宜性评价方法;但权重问题是该方法量化过程中的一个关键,早期的实践运用中大多依靠研究者的主观臆断,后来逐渐演化出了熵权法、主成分分析法、局部惩罚性变权法、隶属度评价法等权重确定方法,从某种程度上减少了评价结果的主观性^[18]。逻辑规则组合法能够较好地表征生态因子之间的复杂、非线性关系,但其难点在于逻辑规则的制定;特别是在进行生态适宜性分析时,涉及的生态因子往往较多,各层次因素间的逻辑关系也比较复杂,要准确界定各系统组分和各因子之间的关系就显得十分困难,因而在很大程度上限制了该方法的广泛运用。格局—过程模型法能够从理论上实现对复合生态系统的模拟,但鉴于生态学格局和过程本身所固有的复杂性和不确定性,现阶段模型的应用性和普适性仍将会受到很大的限制。

表 1 典型适宜性评价方法比较

评价方法	优 点	不 足
生态因子叠置法	形象直观,运算公式简单,能方便的借助地理信息系统技术中的地图代数、空间分析等工具箱实现具体操作,现阶段应用最为广泛	评价结果直接受制于数据获取的精度和尺度,评价指标权重的确定过程存在较强的主观性,且该方法极力强调某一景观单元内因子的垂直叠加,忽视了水平生态过程
逻辑规则组合法	通过对资源的生态价值和社会经济价值需求的组合来建立区域发展的逻辑规则,避免了确定生态因子权重的环节,直接进行适宜性分区	逻辑规则的制定是难点,现阶段如何建立起符合区域发展特点的生态因子逻辑组合分类规则还比较困难,很大程度上限制了该方法的使用
格局—过程模型法	可以部分克服上述两种方法中数据的准确性、确定性以及可信度方面的弊端,反映物种和人的空间运动、物质和能量的流动、干扰过程等	模型涉及的生态因子较多,且每个变量对于生态适宜性的贡献比较复杂,导致所构建的模型往往只能用于某个特定区域,参数的确定过程也不太完善,一定程度上制约了该方法的适用性

3 海洋生态适宜性研究概况

3.1 海洋生态系统管理研究概况

海洋生态系统具有复合性、连续性、流动性和脆弱性的特征,其资源与环境之间,相互联系、相互制约,形成了不同层次、不同内容的系列子系统^[34],在复合生态系统的结构和功能、人海关系调控的思维和技术等方面具有显著的特殊性^[35]。面对当前全球性人口急剧增长、陆域环境污染和陆地资源枯竭等严重问题,海洋资源的重要性已经日益被人类所认知:作为全球生命支持系统的重要组成部分,海洋将成为人类生存和社会经济发展的重要资源基础和环境条件^[36];与此同时,人类活动对海洋生态系统动力学影响的复杂程度也日益凸显,海洋生态系统固有的脆弱性和敏感性使得用海矛盾不断激化,沿海地区的海域生态环境面临巨大压力,很大程度上制约了区域资源环境和社会经济的发展。

因此,如何提升海洋生态系统的管理水平已经成为国内外研究的热点。UNESCO 正在广泛推动海洋空间规划与大海洋生态系的管理理论;欧盟(EU)也开始制定新的综合海洋政策,以期在保护海洋资源基础的同时促进涉海经济增长;英国在 2009 年通过了《海洋和海岸带准入法》,借鉴了陆地生态系统管理的经验,把生态系统方法作为高层次的海洋目标;美国 2009 年 12 月公布的《有效的海岸带和海洋空间规划临时框架》中强调海洋规划和管理活动应当全面反映对生态系统方法的认识;2011 年,我国在《国家环境保

护“十二五”规划》中提出了“海洋生态红线”制度,党的十八大又将“海洋生态文明建设”提到一个新高度。类似的研究也在世界其他国家开展和实施,旨在深入认识和理解海洋系统的自然和人文要素,使海洋资源管理发展成为以海洋生态系统为对象的综合管理,实现海洋生态资源的可持续^[34]。

3.2 海洋生态适宜性相关的研究进展

联合国环境规划署(UNEP)发布的《千年生态系统评估报告(海洋和沿海生态系统部分)》强调了海洋生态可持续对人类生存和福祉的重要性,并提出了适应性管理方法在应对海洋研究的动态性和不确定性中的优越之处^[37]。开展海洋生态适宜性研究,就是以海洋生态系统可持续性为目标,在不断探索、认识生态系统自身内在规律、人类干扰过程的基础上,根据海洋生态适宜性评价的结果,分析海洋资源和社会经济发展的基础优势,并因地制宜地提出生态系统优化与调控策略,以满足生态系统容量和社会需求方面的变化^[34],最终建立起以海洋生态系统为基础、以发挥海洋生态功能和海洋功能区作用为出发点,协调人与自然、开发利用活动与生态恢复力之间关系的区域海洋管理模式。

尽管陆地生态适宜性评价的方法和模型已经非常成熟,但其在海洋领域的应用却仍然极其有限。国外海洋生态适宜性的研究多集中于海洋生物的生境适宜性分析^[38-39],河口质量的适宜性评价^[40],海洋环境适宜性评价指数的构建^[35],

海洋资源开发利用的社会经济效益评估,以及海洋工程选址的适宜性分析^[41]等几个方面。典型的如葡萄牙的 Ferreira 从脆弱性、海水状况、沉积物状况、营养动力学 4 个方面建立起适宜性的主观评价标准,结合研究区域各方面的具体状况进行了专家打分,据此来判断海洋资源质量的优劣;不少学者采用指示生物法(包括底栖生物的完整性指数、Shannon-Wiener 多样性指标、BI 评价指标、AMBI 评价指数和 Bentix 评价指标等)对海洋生态系统的健康程度进行了评价;美国国家海洋与大气管理局建立了包括富营养化、病理学和健康指数(动植物多样性、初级生产力、恢复力、弹性和稳定性等)的海洋环境适宜性评价方法;欧盟提出了海洋环境评价的水框架指令(water framework directive),初步建立了评价技术导则,旨在评估人类活动产生的环境压力。总体上,国外的评价还是以描述性的分析为主。

国内学者中,杨新梅等^[42]利用模糊数学和加权评分的思想改进了传统的层次分析方法,并应用到海洋自然保护区的资源综合评价中;吴涛^[43]将景观生态学、干扰生态学、模糊数学、遥感监测技术等引入滨海湿地生态系统的健康评价,从人类活动、生物特征指标、环境特征指标、景观格局指标和环境保护政策等多个方面出发,构建了大洋河河口湿地生态系统的 PSR 评价模型;林绍花^[44]提出了海洋功能区划的适宜性评价方法;李占海等^[45]构建了中国海滩旅游资源适宜性评价体系;叶属峰等^[46]将空间分析技术与综合指数评价相结合,从海洋环境压力、海岸带开发强度、海洋可利用资源、海洋环境质量现状、人口聚集度、海岸带经济发展水平、科技支撑条件、区域发展政策导向等 10 个方面对长江三角洲海岸带适宜性开展了评价,并据此划定了区域海洋主体功能区;吕霞等^[47]从自然生态、基础设施、社会经济三大维度对港口的生态适宜性进行了分析;田娜^[48]将人工神经网络技术与适宜性评价理论相结合,建立了滩涂资源开发的 BP 网络评价模型;王初升等^[49]将生态干扰、生态服务功能等理论引入围填海对珊瑚礁生物海岸的影响分析,从资源损失、环境质量、生态功能和经济损益 4 个层面建立起了围填海活动的适宜性评价指标体系,据此将围填海的适宜等级划分为可围填区、限制围填

区和禁止围填区;陈秋明^[50]构建了无居民海岛开发适宜性逻辑分析规则,并尝试采用互斥矩阵,从社会经济可行性和生态保护重要性两个方面对厦门鳄鱼屿的开发适宜性进行了评价。

总体来看,大部分适宜性评价模型都还是停留在静态的定性分析阶段,多从理论机理出发给出一定程度的适宜性描述;虽有一些量化研究,也仅是对海洋总体情况的笼统评价,或针对海洋生态系统的某一特定功能开展半定量的特性分析;比如利用特定的生物指数判断海洋生态系统的生境适宜程度,或是利用环境质量指数来表征其健康程度等;评价体系还比较单一,缺乏对影响海洋资源开发利用的生态因子的系统、宏观研究,以及综合评价其是否适宜开发和如何开发等内容,难以表征海洋生态系统的复杂性和整体性。

3.3 海洋生态适宜性的概念和内涵

基于上述研究,我们提出了海洋生态适宜性的概念,认为海洋生态适宜性是指由海洋生态系统具有的地质、地貌、水文、气象、物理、化学、生物、景观、区位等自然和社会属性所决定的,对特定、持续性用途的生态学需求满足程度和适应能力。海洋生态系统和陆地生态系统类似,也是由生命结构系统和环境支持系统两个方面的要素组成,其中生命系统要素包括了各种海洋植物、动物和微生物等,环境系统要素则包括光、热、水、气以及各种营养物质等,共同构成了海洋生态资源。评价海洋生态适宜性,也就是研究在不同的区域发展目标下,海洋生态资源条件对特定开发利用方式的适宜程度。

在海域使用的复杂性和资源用途的多样化的背景下,海洋生态适宜性分析通过对海域的自然、环境、经济、社会属性等资源进行综合定量描述,旨在从海洋生态系统的角度出发,根据区域自然资源与环境特性,结合发展要求与资源利用要求,反映区域生态环境资源的基础优势,表征社会经济的开发密度,提供区域环境的相对发展潜力和承载力。在综合评价各生态因子的适宜程度的基础上,识别出重要的海洋生态保护区和开发利用区,评定海域的固有属性对生态保护和开发利用的适宜等级和地域分布。确定区域开发的制约因素,维持海洋生态系统的整体性,寻

求积极的海洋生态平衡,促进区域海洋资源开发和生态环境保护的协调可持续,最终为海洋生态系统的综合管理提供依据。

4 存在的问题与研究展望

目前,区域生态适宜性研究的基本理论框架已构建起来,用于生态适宜性评价的各种数学、物理、地理学模型也在研究和完善当中。但总体上仍以陆域研究为主,且集中于城市功能区划分、土地利用、环境影响评价、景观规划、旅游规划与开发等领域,可供参考的海洋生态适宜性理论和评价方法等资料极其有限。在研究方法上,也存在主观性较大、应用程度较低等问题。

(1)水平生态过程表征的问题。生态资源的价值不仅由垂直生态要素(如地形、地质、土壤、水环境、生物等)决定,还表现为各生态因素在水平过程中的流动或相互作用^[51],包括物质的循环和能量的平衡、泥沙和养分的积累与运移、物种的空间迁徙、人类的空间运动、物理和生物干扰过程(如大风、病虫害等)的空间扩散等^[52]。尤其对海洋生态系统而言,具有显著的流动性和连通性特征,在评价过程中须考虑水平流动和动态变化的问题。然而现阶段生态适宜性研究大多忽视了评价过程的水平—垂直二象性:无论是地图叠置法中的数学叠加,还是逻辑规则组合法中的逻辑叠加,都只是将生态要素进行垂直叠加的过程,缺乏对自然景观单元间的水平生态过程的分析,因而无法保证对实际生态学演进过程的客观考量,赋权和规则设定过程又进一步增加了评价结果的主观性。

(2)多维度的生态因子量化体系问题。资源的生态适宜性应当从价值和价值限制两个方面进行理解:既需要根据资源的生态价值来判定其在生态保护方面的适宜性程度,又应当从资源的生态价值出发,分析其对某种特定开发利用方向的限定性程度,前者对应生态适宜性研究的自然属性,后者对应其社会属性^[53]。在社会经济高速发展的今天,人类活动已经成为影响生态系统的—个主导因素,也是生态适宜性的研究过程中需要考虑的必不可少的属性要素。而现有研究往往只从单一维度开展评价,特别是适宜性评价因子的选择,多侧重资源的自然生态属性,对于社

会经济因素的量化还不够,也忽视了两者间相辅相成的关系;缺乏从多个不同层次和多个维度,特别是从景观生态学的角度考虑适宜性评价,一定程度上降低了生态适宜性研究对于生态系统管理的指导意义。

(3)多尺度适宜性评价的问题。生态问题往往不会局限在单一尺度层面上,有关资源环境的决策制定应当在生态信息输入最大的体制层次上进行,以确保生态信息在各层次上的流通;而适当的管理尺度将拥有最相关的信息,能快速有效地做出反应并能够在不同的尺度层面上进行综合^[54]。生态适宜性也在不同尺度上有其各自的内涵,只有当研究的尺度与所分析的区域主体的本征尺度相一致时,区域资源—生态—环境的主要矛盾才能被可靠地表征。而现有研究多为单一尺度的研究,或者从宏观尺度进行简单的生态功能分区,或从微观尺度评价单一用途的适宜性,且对于空间格局分异的研究还比较薄弱。如何恰当地引入景观生态学中的“尺度—格局—过程”理论,既能在宏观层面上实现较大尺度的复合系统建模,又能在微观层面上实现更为精确的格局度量,最终开展更加细化、可靠的预测评价,实现以可持续发展为目标的尺度推绎,并通过案例的细化研究,提出有针对性的区域生态系统管理技术和区域发展规划战略建议等,还有待进一步深化。

(4)完善的海洋生态适宜性研究体系构建问题。海洋生态适宜性研究集评价、规划与决策于一体,是一个典型的半结构化的多层次和多目标的群决策问题,需要构建科学完整的研究体系^[55]。近年来,尽管在理论上已初步明确了研究对象和问题,但技术和方法体系还需深入;特别是随着越来越多的陆域生态系统研究理论(如生态位、压力—状态—响应、景观生态规划等)和方法(如模糊数学、情景分析、系统动力学等)被引入,其普适性还有待商榷。而如何从整体性出发,在机制上理解海洋生态系统内部的结构和功能,深入认识和理解海洋系统的自然和人文要素,在量化过程中实现二者的剥离;同时综合考虑海洋要素的复杂性、指标量化的模糊性、海水的水平流动性,以及陆海统筹等的交互关系,模拟海陆之间的相互作用和景观空间格局对过程

的控制和影响,并最终将海洋生态适宜性评价与“海洋生态红线选划”“海洋功能区划”“海洋空间规划”“海陆资源配置”等具体实践应用相结合,统筹协调涉海管理活动,将海洋生态系统的保护和海洋资源的管理方式结合起来,使海洋资

源管理从现阶段的行政区域为单元走向广义的以生态系统为对象的区域大海洋可持续利用和管理的模式,以适应日益增长的海洋资源开发利用的新需求,这些仍然是未来海洋科学研究的重要课题。

参考文献

[1] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等.景观生态学原理及应用[M].北京:科学出版社,2001.

[2] 史培军,宋长青,景贵飞.加强我国土地利用/覆盖变化及其对生态环境安全影响的研究:从荷兰“全球变化开放科学会议”看人地系统动力学研究的发展趋势[J].地球科学进展,2002,17(2):161—168.

[3] 田亚平,邓运员.概念辨析与实证:脆弱生态环境与退化生态环境[J].经济地理,2006,9(5):846—848.

[4] MCMAMUS L T. Global change in the coastal zone: The case of southeast Asia[C]//Abstracts of global change open science conference. Amsterdam: Congres Holland BV, 2001.: 83—90.

[5] 殷克东,方胜民.海洋强国指标体系[M].北京:经济科学出版社,2008: 11.

[6] HALPERN B S, WALBRIDGE S, SELKOE K A, et al. A global map of human impact on marine ecosystems[J]. Science, 2008, 319(5865):948—952.

[7] DANIELSEN F, SORENSEN M K, OLWIG M F, et al. The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation[J]. Science, 2005, 310(5748): 643.

[8] MCHARG I. Design with nature[M]. New York: Natural History Press, 1969.

[9] 黄光宇,陈勇著.生态城市理论与规划设计方法[M].北京:科学出版社,2002.

[10] WESTMAN W E. Ecological impact assessment and environmental planning[M]. New York: John Wiley and Sons, 1985.

[11] CAMBELL J C, RADKE J, GLESS J T, et al. An application of linear programming and geographic information systems: crop-land allocation in antigue[J]. Environment and Planning, 1992, 24: 535—549.

[12] PEREIRA J M C, DUCKSTEIN L. A multiple criteria decision—making approach to GIS-based land suitability evaluation[J]. In-ternational Journal of Geographical Information Systems. 1993, 7(5): 407—424.

[13] BONHAM—CARTER G F. Geographic information systems for geoseientists: Modeling with GIS[M]. NewYork: Pergamon Press, 1994.

[14] EASTMAN J R, KYEM P A K, TOLEDANO J, et al. GIS and decision making[M]. Geneva: UNITAR, 1993.

[15] JANSSEN R, RIETVELD P. Multicriteria analysis and geographical information systems: an application to agricultural land use in the netherlands[C]//. SCHOLTEN H J, STILLWELL J C H. Geographical Information Systems for Urban and Regional Plan-ning. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990: 326—339.

[16] MORENO D, SEIGEL M. A GIS approach for corridor sitting and environment impact analysis[C]//. Proceedings From the Third Annual International Conference Texas: San Antonio, 1988: 507—514.

[17] MILLER W, COLLINS W M G, STEINER F R, et al. An approach for greenway suitability analysis[J]. Landscape and Urban Planning, 1998, 42(2—4): 91—105.

[18] 杨少俊,刘孝富,舒俭民.城市土地生态适宜性评价理论与方法[J].生态环境学报,2009,18(1):380—385.

[19] MARULL J, PINO J. A land suitability index for strategic environmental assessment in metropolitan areas[J]. Landscape and Ur-ban Planning, 2001, 81: 200—212.

[20] STOMS D M, MEDONALD J M. Fuzzy assessment of land suitability for science researeh reserves[J]. Environmental assess-ment, 2002, 29: 545—558.

[21] TANG H J. Debavye. Land suitability classification based on fuzzy set theory[J]. Pedologie, 1991, 41: 194—201.

[22] JIAO Limin, LIU Yaolin. Model of land suitability evaluation based on computational intelligence[J]. Geo-spatial Information Sci-ence, 2007, 2.

[23] 梁涛,蔡春霞,刘民,等.城市土地的生态适宜性评价方法[J].地理研究,2007,26(4):782—788.

[24] 石玉林.关于《中国 1: 100 万土地资源分类工作方案要点》(草案)的说明[J].自然资源,1982,4(1):63—69.

[25] 陈昌勇,尹海伟,徐建刚.吴江东部地区城镇发展用地生态适宜性评价[J].陕西师范大学学报:自然科学版,2005,33(3):

114—118.

[26] 赵珂, 吴克宁, 朱嘉伟, 等. 土地生态适宜性评价在土地利用规划环境影响评价中的应用: 以安阳市为例[J]. 中国农学通报, 2007, 23(6): 125—128.

[27] 欧阳志云, 王如松. 生态位适宜度模型及其在土地利用适宜性评价中的应用[J]. 生态学报, 1996, 16(2): 112—120.

[28] 刘毅, 李天威, 陈吉宁, 等. 生态适宜的城市发展空间分析方法与案例研究[J]. 中国环境科学, 2007, 27(1): 34—38.

[29] 史培军, 宫鹏. 土地利用/覆盖变化研究的方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[30] 刘伍, 李满春, 刘永学, 等. 基于矢栅混合数据模型的土地适宜性评价研究[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(3): 320—324.

[31] 黎夏, 刘小平, 彭晓鹃. “生态位”元胞自动机在土地可持续规划模型中的应用[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2391—2402.

[32] 于声. 模糊评价法在区域工业用地适宜性评价中应用[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.

[33] 刘孝富, 舒俭民, 张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用: 以厦门为例[J]. 生态学报, 2010, 30(2): 0421—0428.

[34] KIDD S, PLATER A, FRID C. The ecosystem approach to marine planning and management[M]. Earthscan Ltd, 2011.

[35] 石洪华, 丁德文, 郑伟, 等. 海岸带复合生态系统评价、模拟与调控关键技术及其应用[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.

[36] 国家海洋局. 中国海洋 21 世纪议程[M]. 北京: 海洋出版社, 1996.

[37] UNEP(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). Marine spatial planning[EB/OL]. (2010—05—15) [2014—12—01]. http://www.ioc-unesco.org/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1.

[38] MUNIZ P, VENTURINI N, HUTTON M, et al. Ecosystem health of Montevideo coastal zone: A multi approach using some different benthic indicators to improve a ten-year-ago assessment[J]. Journal of Sea Research, 2011, 65(1): 38—50.

[39] BAILEY R C, NORRIS R H, Reynoldson T B. Bioassessment of freshwater ecosystems using the reference condition approach [M]. New York, USA: Kluwer Academic Publishers, 2004.

[40] FERREIRA J G. Development of an estuarine quality index based on key physical and biogeochemical features[J]. Ocean & Coastal Management, 2000, 43(1): 99—122.

[41] 朱庆林. 海岸带功能评价数学模型研究与应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.

[42] 杨新梅, 陈志宏, 刘娟, 等. 大连湾海域水质污染因子权重分析[J]. 海洋通报, 2002, 21(3): 86—90.

[43] 吴涛. 基于遥感技术的河口三角洲湿地景观生态健康评价[D]. 上海: 上海师范大学, 2010.

[44] 林绍花. 海洋功能区划适宜性评价模型研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.

[45] 李占海, 柯贤坤, 周旅复, 等. 海滩旅游资源质量评比体系[J]. 自然资源学报, 2000, 15(3): 229—235.

[46] 叶属峰, 王光振, 过仲阳, 等. 长江三角洲海岸带区域综合承载力评估与决策: 理论与实践[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.

[47] 吕霞, 陆明生. 港口建设用地生态适宜性评价指标体系的建立与应用[J]. 交通标准化, 2008, 143: 39—41.

[48] 田娜. 黄河三角洲地区滩涂资源开发与利用的适宜性评价[D]. 兰州: 西北师范大学, 2009.

[49] 王初升, 林荣澄, 黄发明. 珊瑚礁海岸围填海适宜性的评估方法研究[J]. 海洋通报, 2012, 31(6): 695—699.

[50] 陈秋明. 基于生态—经济的无居民海岛开发适宜性研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.

[51] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报, 1999(1): 8—15.

[52] 陈燕飞, 杜鹏飞, 郑筱津, 等. 基于 GIS 的南宁市建设用生态适宜性评价[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2006, 46(6): 801—804.

[53] 俞艳, 何建华. 基于生态位适宜度的土地生态经济适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 124—128.

[54] COSTANZA R, ARDRADE F, AUTUNES P, et al. Principles for sustainable governance of the oceans[J]. Science, 1998, 281: 198—199.

[55] 李晓光, 杨金龙. 我国海岸带综合管理研究的多向度综述[J]. 海洋开发与管理, 2012, 29(11): 1—8.