第 37 卷 第 12 期 海 洋 学 报 Vol. 37, No. 12
2015 年 12 月 Haiyang Xuebao December 2015

池源,石洪华,郭振,等. 海岛生态脆弱性的内涵、特征及成因探析[J]. 海洋学报,2015,37(12):93—105,doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2015.12.010

Chi Yuan, Shi Honghua, Guo Zhen, et al. Connotation, features and causes of island ecological vulnerability[J]. Haiyang Xuebao, 2015,37(12):93—105,doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2015.12.010

海岛生态脆弱性的内涵、特征及成因探析

池源[1],石洪华[1*],郭振[1],丁德文[1]

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所,山东 青岛 266061)

摘要: 海岛生态系统拥有明显且独特的脆弱性,对海岛的生态环境和社会经济构成威胁。准确把握和有效控制海岛生态脆弱性是维护海岛生态系统、合理开发利用海岛的根本前提,一套科学、统一且针对性强的概念体系是海岛生态脆弱性研究的基础。参考相关研究,以海岛生态系统的特殊性为基点,以我国海岛为侧重点,通过梳理和分析大量海岛典型案例,提出并探析海岛生态脆弱性的内涵、特征和成因。海岛生态脆弱性是在独特的自身条件和复杂的系统干扰下海岛生态系统表现出的易受损性和难恢复性,具备长期性、分异性和可调控性的特征;特殊的地理位置、有限的规模大小和明显的空间隔离使得海岛生态系统具有明显的海陆二相性、资源短缺性和独立完整性,与不同类型、不同程度的自然扰动和人为干扰相互作用,形成并加剧海岛生态脆弱性。概念体系的建立能够为海岛生态脆弱性的深入分析与合理调控提供切实依据。

关键词: 海岛生态系统;海岛生态脆弱性;内涵;成因;人为干扰

中图分类号: X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-4193(2015)12-0093-13

1 引言

海岛是重要生态功能的贮存库,是人类居住生活的载体,也是保护与利用海洋的支点。人类在认识与开发海岛的过程中,发现海岛生态系统具有明显的独特性,对干扰响应灵敏,一旦遭到破坏很难得到恢复,对海岛的生态环境和社会经济发展构成严重威胁,海岛生态系统的脆弱性即海岛生态脆弱性逐渐引起关注。人类很早就认识到脆弱性(vulnerability)的含义及现象,但对其进行学术研究则于 20 世纪 60 年代开始在生态学领域展开,国外的国际生物学计划(IBP,20 世纪 60 年代)、人与生物圈计划(MAB,20 世纪 70 年代)以及之后的地圈—生物圈计划(IGBP,20 世纪 80 年代开始)等都把生态脆弱性作为重要的研究课题,1988 年在布达佩斯举办的第七届 SCOPE 大会明确了 Ecotone 的含义,丰富了生态脆弱性的理论和实证研究[1—2]。国外研究前期多以自然生态系统为研究对象,其中特别注重气候变化和自然灾害下的生态脆弱性研究,20 世纪 90 年代脆弱性开始应用于社会经济领域,探讨不同社会经济系统对内外扰动的敏感性和应对能力[3—5]。21 世纪以来,自然—社会综合系统脆弱性成为研究热点,融合自然、社会、经济、人文和环境、组织和机构等特征的人地耦合系统脆弱性概念被提出[6—9],多因素、多维度耦合系统分析成为国

收稿日期: 2015-06-12;**修订日期:** 2015-09-24。

基金项目: 海洋公益性行业科研专项项目(201505012);中国工程院咨询项目(2015-06-XY-004);国家海洋局第一海洋研究所基本科研业务费专项资金项目(2015G13)。

作者简介: 池源(1988—),男,河南省南阳市人,主要从事海岛生态系统分析与评估研究。E-mail:chiyuan@fio.org.cn

* **通信作者:** 石洪华(1978—),男,山东省济宁市人,副研究员,主要从事海洋生态动力学和生态评估研究。E-mail:shihonghua@fio.org.cn

外脆弱性研究的发展趋势。国内脆弱性研究相对较晚,最早始于牛文元 1989 年从 Ecotone 的角度识别生态脆弱区域[10],20 世纪 90 年代的国家“八五”重点科技攻关项目“生态环境综合整治和恢复技术研究”,对脆弱性生态环境进行了较为系统的研究[11—12]。之后,众多学者针对不同生态脆弱区进行了丰富的理论与实证研究,并尝试在不同尺度上对人地耦合系统的脆弱性及适应能力和策略展开探讨[13]。但总体来看,我国脆弱性理论研究还相对落后,实证研究也缺乏统一标准,且自然—经济—社会综合系统的定量研究也有待进一步开展[13]。对于海岛生态系统的脆弱性研究,国外已经开展了积极有效的工作,探讨了在气候变化、海平面上升背景下以及台风、海水入侵等自然灾害作用下海岛生态系统的脆弱性特征[14—16],并关注海岛国家经济脆弱性问题[17—19]。国外研究往往将脆弱性作为海岛的固有特征,人类活动则作为海岛生态脆弱性的调控因子[20],较少考虑人类活动引起或加剧的海岛生态脆弱性,这对海洋经济快速发展、海岛开发利用方兴未艾的我国而言具有一定的指导作用,但现实性和实践性不强。我国近年来也开展了相关研究,对海岛脆弱性的内涵、驱动机制、评价方法和调控对策进行了探讨和实证研究[21—28],但在理论、方法和实践上仍处于初步阶段,尤其是缺乏科学统一的海岛生态脆弱性概念体系,难以对海岛脆弱性的深入研究和科学调控提供有力的支撑。

基于此,本文参考生态脆弱性的相关研究,以海岛生态系统的特殊性为基点,以我国海岛为研究侧重点,通过梳理和分析大量海岛典型案例,阐释海岛生态脆弱性的内涵和特征,进而剖析海岛生态脆弱性的成因。本文旨在提供一套科学、统一且针对性强的海岛生态脆弱性基本概念体系,为海岛生态脆弱性的深入分析和有效调控提供切实依据。

2 海岛生态系统与海岛生态脆弱性的内涵

2.1 海岛生态系统

海岛生态系统是一种独特的生态系统类型,一方面,其位于海洋和陆地交错地带,生态属性复杂,由岛陆、岛滩和环岛近海构成[21,28—29],其中岛陆是海岛生态系统的核心和依托,岛滩和环岛近海是岛陆的自然延伸,共同构成综合的海岛生态系统;另一方面,海岛作为自然地理实体,本身是一种自然生态系统,但随着人类活动的全球普遍性[30],海岛生态系统的某些组分或区域不可避免地受到人为影响,获得人工生态系统的属性,从而使其同时拥有自然和人工生态系统的特征,即海岛生态系统实质上是一种自然—人文复合生态系统[31]。综上所述,海岛生态系统是以岛陆为核心、以岛滩和环岛近海为延伸的自然和人文因子相互联系、相互作用形成的综合—复合生态系统。其中,自然因子包括岛陆、岛滩、环岛近海的气象气候、地质地貌、水文水资源、土壤/沉积物和生物因子,人文因子主要为人口、政治、文化、交通、科技等社会经济因素及与之相对应的开发利用活动。

2.2 海岛生态脆弱性

2.2.1 生态脆弱性

生态脆弱性与生态敏感性的含义相近,二者均源于对生态交错带(Ecotone)的研究。生态交错带是指在生态系统中处于两种或两种以上的物质体系、能量体系、结构体系、功能体系之间所形成的界面,以及围绕该界面向外延伸的“过渡带”的空间域[10];生态敏感性是指区域由于边缘效应,抗干扰能力低,或可能发生自然灾害,或受到自然变化与人类活动的干扰容易发生生态系统结构、功能演变的性质[32]。可以发现,生态交错带的概念强调界面性,即区域的特殊性;生态敏感性则注重系统本身容易受到干扰影响的性质。生态脆弱性与二者相比拥有更为丰富的含义。《现代汉语词典》将“脆弱”定义为“不坚强、不牢固”,《辞海》中“脆弱”定义为“易折和易碎”,表示在汉语中脆弱的含义包含“易受损害性”和“受到损害后很难恢复到原状”。国内外相关研究中关于脆弱性或生态脆弱性的定义很多,运用较为广泛的包括 IPCC 第三次报告中针对气候变化的定义“脆弱性为系统对气候变化(包括气候变异和极端气候事件)导致负面影响的敏感程度和不能处理的程度”[33],Timmerman 在地质领域提出的概念“脆弱性是一种度,即系统在灾害事件发生时产生不利响应的程度,系统不利响应的质和量受控于系统的弹性,该弹性标志着系统承受灾害事件并从中恢复的能力”[3],Adger 等的定义“脆弱性为系统暴露于环境或社会变化中,因缺乏适应能力而对变化造成的损害敏感的一种状态”[7]。国内研究中,刘燕华等认为生态脆弱性拥有三层含义:“①构成该生态系统的群体因子和个体因子存在内在的不稳定性;②生态系统对外界的干扰和影响较敏感;③在外来干扰和外部环境变化的胁迫下,系统易遭受某种程度的损失或损害,并且难以复原”[34]。王小丹等认为“生态脆弱性指生态环境受到外界干扰作用超出自身

的调节范围而表现出的对干扰的敏感程度”[35]。生态脆弱性的定义基本可以分为两类,一类认为脆弱性是系统本身的属性和特质,当系统面临干扰时,这种特质便表现出来;另一类将脆弱性作为系统受到干扰时可能出现的后果,这种后果的严重程度取决于系统的暴露程度[36—37]。简言之,就是把生态脆弱性作为“原因”还是“结果”看待的区别。事实上,脆弱性是一个长期变化的过程,将其一概而论地作为“原因”或“结果”均有失偏颇,任何时空尺度下的脆弱性都可以是相邻时空脆弱性的原因或结果。另外,国内外脆弱性研究的具体情况还有所不同,国外更多地研究自然灾害、气候变化、海平面上升等人类不可控或难以控制的干扰引起的脆弱性,人类因子主要是调控因子,通过有意地开展生态保护和管理缓解生态脆弱性;国内研究中,人类因子一方面是海岛生态脆弱性的干扰或触发因子,另一方面也可以成为脆弱性的调控因子,而人类调控除了生态保护和管理之外,还包括对开发利用活动进行管控、优化以及影响减缓的各项措施,使得我国生态环境脆弱性的干扰和适应因子更加复杂。

2.2.2　海岛生态脆弱性

参考相关研究,基于海岛生态系统的特殊性,本文将海岛生态脆弱性定义为“海岛生态系统由于独特的自身条件和复杂的系统干扰而长期形成的、时空分异的、可调控的易受损性和难恢复性”。

(1)易受损性

易受损性表现在海岛生态系统更容易受到干扰,且面对干扰时其生态结构和功能更容易遭到损害。以山东长岛县为例,其人工林近年来深受松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus*)病的干扰。松材线虫生长繁殖最适宜温度为 25℃,在年平均气温高于 14℃的地区普遍发生,年平均气温在 10～12℃地区能够侵染寄主但不造成危害[38];长岛年平均气温约为 12℃,理论上处于松材线虫能够发生但不致明显危害区域,但却成为山东乃至我国北方松材线虫病的首个疫区。这正是由于海岛位置特殊且规模有限,人工林树种单一,干旱和大风使得人工林生长环境恶劣,抵抗能力较差[39],且干旱后树木更容易受到病虫害的危害[40]。在这样的条件下,松材线虫具有侵入途径和传播空间以及抵抗力较差的寄主植物,能够对人工林及海岛生态系统造成损害。案例中,位置特殊和规模有限是自身条件,干旱和大风是系统干扰,共同造成海岛人工林对病虫害的易受损性;病虫害对海岛生态系统同样是一种干扰,使得海岛人工林死亡严重,生物量大量丧失,其防风固土、涵养水源、维持生物多样性等生态功能随之受到损害,进而增加了海岛生态系统对干旱和大风的易受损性,导致海岛土壤更加瘠薄,淡水更加缺乏,生物多样性进一步降低。海岛生态系统的易受损性由此产生并不断加深。

(2)难恢复性

难恢复性表现在海岛生态系统在受到损害后,难以通过系统的自我调节能力与自组织能力恢复至受损前的状态或向良性的方向发展,这一方面是由于海岛地域结构简单且具有明显的独立性,自我调节能力有限;另一方面,海岛生态系统的干扰难以完全消除,即使一定时期内主要干扰停止或基本停止,但由于其他干扰的作用,系统不能得到良好的恢复。同时,海岛位置特殊且空间隔离,可达性差,自然灾害频发,生态恢复过程中人工措施的实施难度较大,成本较高,这也是海岛生态系统难恢复性的重要表现。同样以山东省长岛县为例,20 世纪 90 年代松材线虫病侵入之后迅速蔓延,长岛县对松材线虫病防治投入了大量的精力,在潜伏树诊断、媒介昆虫捕杀、病原树清理等方面进行了一系列的工作[41—42],一度使松材线虫病得到控制,海岛生态系统得到一定恢复;然而,近年来该病再次蔓延,系统恢复受到阻碍。案例中,病虫害是海岛人工林的主要干扰因子,干旱和大风是其他干扰因子,海岛较差的可达性和明显的地势起伏为人类调控构成难度;病虫害侵入后,仅仅依靠系统自我调节能力无法实现系统恢复和人工林健康,人类措施的实施使得主要干扰因子得到控制,生态系统也得到一定的恢复,但由于其他干扰因子的难控制性以及人类措施的高成本和高难度,生态恢复难以保持稳定,一旦主要干扰因子脱离控制,生态系统便再次遭到重大损害,生态恢复工作又回到起点。

3　海岛生态脆弱性的特征

3.1　长期性

海岛生态系统受到自然扰动和人为干扰的影响而受到损害或发生变化,同时,其自身条件孕育和促进了不同自然灾害的形成和发生,吸引了人类活动但又对人类活动的类型、范围和强度构成限制。海岛生态脆弱性的形成和增强是其生态系统自身条件和系统干扰长期相互作用的结果;同样的,海岛脆弱性的减弱或消除也是一个长期的过程。

3.2 分异性

海岛生态脆弱性的分异性包括时间分异性和空间分异性。时间分异性表明海岛生态脆弱性不是静态的,是随着自身特征和系统干扰的相互作用而不断变化的,也是生态脆弱性长期性的实际表现状态。海岛生态系统属于典型的边界系统,内外和内部能量流较高,状态多变,具有多个稳定态[32]。同时,由于物质、能量、生物流动强度、规模、方式与类型的非均衡,海岛生态脆弱性具有明显的空间异质性。一方面,不同海岛物质构成、面积大小、自然环境、区域特征的差异,使得其自身条件和系统干扰存在明显不同,从而带来生态脆弱性的差异;另一方面,同一海岛内部不同位置的地表覆盖、地形、土壤特征以及人类干扰程度的差异也会造成海岛内部生态脆弱性的空间分异。

3.3 可调控性

海岛生态脆弱性是可以通过人为调控进行减弱或消除的。生态过程虽然不可逆,但允许在一定程度上采取外力调控系统的能量和物质流动,促使生态系统结构和功能趋向正效应,达到最佳的动态平衡点,提升生态系统的稳定性[32,43],这也是提出并研究海岛生态脆弱性的前提和目的。人类活动调控海岛生态脆弱性的途径和方法有很多种,一方面是采取调控措施减少开发建设的负面影响,如城镇污水和垃圾收集设施的兴建能够约束废水和垃圾的无序排放,削减海岛生态系统的污染来源;另一方面则是有意地进行生态保护和管理,增强生态系统的稳定性,如海岛人工林建设、环岛海堤修建和人工鱼礁布设等。

海岛生态脆弱性调控应建立在对脆弱性清楚认识和准确把握的基础上,特别需要注意的是海岛生态脆弱性的长期性和分异性特征。长期性表明海岛生态脆弱性的调控并非一蹴而就,应当付出不懈的努力和持续的投入;分异性要求脆弱性的调控应当因岛制宜、因地制宜,只有根据不同区域的实际情况制定针对性的调控措施,才能在减少不必要投入的同时,有效控制海岛生态脆弱性。

4 海岛生态脆弱性的成因探析

海岛生态系统独特的自身条件即固有脆弱性,体现了一般海岛的共性;系统干扰则代表特殊脆弱性,不同海岛由于不同的干扰类型和程度拥有着不同的特殊脆弱性。自身条件和系统干扰长期相互作用形成并加剧海岛生态脆弱性。

4.1 自身条件

特殊的地理位置、有限的规模大小和明显的空间隔离是海岛生态系统最直观的特点,也是最基本的自身条件[44]。

特殊的地理位置使得海岛生态系统具有海陆二相性特征。岛陆生态系统具有陆地生态系统的一般特征,其生物群落和生境与大陆基本相似[45—46],环岛近海拥有海洋生态系统的一般特征,岛滩则为岛陆和环岛近海的过渡地带,岛陆—岛滩—环岛近海并非各自独立,而是相互联系、相互作用共同构成综合的海岛生态系统。海岛生态系统实际上是海岸带生态系统的一种典型类型,位于海洋—陆地—大气—生物等圈层强烈交互作用的过渡带,边缘效应明显[47],环境变化梯度大,自组织能力和自我恢复能力较弱[32]。

有限的规模大小造成海岛生态系统的资源短缺性。区域范围的狭小使得海岛地域结构简单,土地和淡水资源缺乏,土壤贫瘠[44,48]。经典的岛屿生物地理学理论表明,物种数量与面积大小呈正相关,海岛有限的规模限制了物种多样性[49—50];同时有研究发现,海岛面积限制是物种灭绝最主要的影响因子[51]。因此,海岛生物多样性偏低,生物资源短缺[52—54]。

明显的空间隔离使得海岛生态系统具有独立完整性。海岛生态系统与大陆隔离,物种交流受到限制,形成了独立的生态小单元[55—56],具有明显的独立性,进而降低了新物种迁入的几率,加剧了物种灭绝的可能;此外,空间隔离也造成了海岛对外交通不便,对海岛的开发利用和生态脆弱性调控构成制约。海岛生态系统结构完整,拥有生态系统应具备的各类生物和非生物组分。同时,海岛周边海域由于岛陆的物理阻隔,相比开阔海域破碎化程度高,部分海域水交换能力相对较差。

4.2 系统干扰

4.2.1 自然扰动

海岛生态系统是岛陆—岛滩—环岛近海综合生态系统,位于海陆交互地带,受到各种自然因子的干扰,这种干扰往往以自然灾害的形式出现。气候变化和海平面上升是海岛生态系统面临的重要自然背景和趋势,不但可能直接导致海岛消失和面积萎缩,更多的是通过引发或加剧其他自然灾害作用于海岛生态系统,如气候变化带来极端天气现象的增多,海平面上升可能带来海水入侵程度的加深和风暴潮频率的增加[57]。另外,海岛开发利用活动的日益频繁也使得自然灾害的发生频率和强度不断增大[58]。自然

灾害不仅是海岛生态脆弱性的重要驱动因子,也是系统受损的表征;海岛生态系统一方面可能为自然灾害提供孕灾环境,另一方面也是自然灾害的承灾体。

(1)气象灾害

大风和干旱是我国海岛普遍的自然扰动因子。由于我国的季风性气候、频繁的气旋天气系统、海陆热力性质差异和海上风力阻隔小等因素,海岛大风天气频繁。山东长岛地区年均大风日数为 59～110 d,江苏连云港前三岛岛群年均大风日数约 134 d,福建东山岛年均大风日数达 122 d[59—61]。虽然我国海岛所在区域降雨量并不小,但降水季节变化明显,且海岛汇水区域有限,蓄水能力较差,可利用的淡水资源较缺乏,干旱或季节性干旱成为我国海岛典型的自然特征。山东长岛 1953－1983 年间发生干旱灾害的年份占近 60%;广西廉州湾内的七星岛、渔江岛等冬旱发生频率达 100%,春旱的频率也达 66%[59,62]。大风和干旱不仅对海岛社会经济活动带来制约,也对海岛自然实体造成影响,主要表现为对岛陆地形地貌的塑造和对岛陆植物的胁迫。岛陆特别是以基岩为物质构成的岛陆,在大风的作用下,往往形成以剥蚀丘陵为主的地貌类型,再加上长期缺水,海岛土层较薄,土壤贫瘠;岛陆原生植被也受到大风和干旱的影响而发育不良,植被的缺失又造成海岛防风和蓄水能力减弱,进而加剧了大风和干旱对海岛的影响。

在部分海岛上,寒潮、暴雨、浓雾等气象灾害也对海岛生态系统构成威胁。1993 年辽宁长海县广鹿乡遭寒潮袭击,通信设施受到严重破坏,共损失广播线杆 38 根,广播线 9 300 m[63];1980－2008 年,江苏连云港东西连岛所在区域共发生灾害性暴雨 16 次,对海岛岛体和设施均造成了严重的损害[60]。

(2)海洋灾害

风暴潮和灾害性海浪是我国海岛最主要的海洋灾害,其直接作用于海岛岸线和陆地,淹没沿岸农田,破坏植被和港口、海堤、房屋等设施,危及人类生命安全,还能引发海岸侵蚀和海水入侵等其他灾害。1983 年浙江台州海域由台风引起的风暴潮和灾害性海浪,直接冲毁大陈岛海堤 90 m,造成严重经济损失[64];2007 年 3 月,辽宁长海县各岛遭遇特大风暴潮,全县农渔业生产、交通运输和基础设施遭到严重影响[63]。在地质活动不稳定地区,海岛周边海域海底地震、火山爆发以及大规模滑坡引起的海啸会对海岛生态系统带来巨大冲击。此外,上述的海洋灾害和气象灾害也会影响海岛的对外交通和交流,使得海岛停航现象普遍,一些海岛可能完全丧失对外交通能力,甚至与外界失去联系,加剧了海岛的隔离性和独立性。

赤潮同时是海岛生态脆弱性的驱动因子和表征因子,一般是自然因素和人类活动相互作用的结果,不仅破坏海洋生态平衡,还对海洋渔业和水产资源构成严重威胁。2007 年 2 月广东南澳岛附近海域发生赤潮,面积达 308 km^2,直接导致损失贝类 20 t,龙须藻 5 t[65]。

(3)地质灾害

由于海岛的物质构成和地形地貌特征、强烈的海陆交互作用、大区域的地质活动活跃性以及日益频繁的人类活动,我国海岛容易遭到地质灾害的干扰[66—67]。海岛地质灾害可分为突发性地质灾害和渐变性地质灾害两大类。

突发性地质灾害主要包括崩塌、滑坡、泥石流等,这在占我国海岛数量中绝大部分的基岩岛上较常发生,这类海岛往往地势起伏明显,岩石坚硬,提供了崩塌、滑坡等地质灾害的孕灾环境,如海南万宁大洲岛由于长期的地质构造和外力作用,岛体布满滚石,约 4 km^2 的海岛上存在 13 处崩塌危险区[58]。突发性地质灾害直接破坏海岛地形地貌、植被覆盖以及各类设施,短时间内造成强烈的危害。同时,我国部分海岛处于火山、地震频发区,火山爆发、地震本身也是一种突发性自然灾害。1918 年 2 月,广东南澳岛东北约 10 km 海域发生 7.3 级地震,南澳岛绝大部分房屋倒塌,部分山体崩塌,植被遭到极大破坏[65]。

渐变性地质灾害包括海岸侵蚀、海水入侵、地面沉降等,这在泥沙岛和部分基岩岛较为常见。泥沙岛物质构成以冲积物为主,地势低平,为海水入侵等渐变性地质灾害提供孕灾环境,如上海崇明岛,其北部垦区和东部垦区潜水层氯度值达 1 000 mg/L 以上[60]。部分基岩岛也存在渐变性地质灾害,主要是砂质岸线的侵蚀,如福建东山岛东部 21.5 km 长的岸线从 1990 年到 2010 年间平均后退了 54.5 m[68]。渐变性自然灾害长期且缓慢地影响着海岛生态系统,造成海岛岸线后退、淡水水质恶化、土壤盐渍化等后果。部分灾害如海水入侵、地面沉降等一方面是海岛生态脆弱性的重要驱动因子,同时也是地下水开采、海岸工程兴建等人类活动作用的结果[69]。

(4)其他自然扰动

除了上述自然灾害外,还有众多自然扰动因子对海岛生态系统构成影响。其中,影响较大的有外来生物入侵、森林火灾等。外来生物通过自然传入和人类

传入(有意或无意)的方式进入海岛生态系统,由于海岛原生物种结构简单且空间资源有限,外来生物对原生物种的生长发育构成严重制约,破坏海岛生物多样性。病虫害作为生物入侵的特殊形式,与森林火灾同为海岛森林的重要威胁。我国北方海岛森林多为 20 世纪 50 年代以来持续种植的人工林,具有重要的生态功能,但树种较为单一且生长条件恶劣,一旦发生病虫害或火灾,会对海岛生态系统稳定性造成重大影响。

4.2.2 人类干扰

海岛生态系统是自然—人文复合生态系统,随着人类活动类型的增加、范围的增大和强度的增强,海岛生态系统受到的人类干扰日渐增多,进而加剧海岛生态脆弱性。

(1)城乡建设

海岛城乡建设是指以岛陆为基底进行的城乡住宅、交通、市政、商业、工业、仓储以及其他各类设施的建设,在全部有居民海岛和部分无居民海岛具有普遍性。城乡建设直接改变海岛地表形态,侵占原生生物栖息地,造成生物量和生产力的损失,割裂自然景观。浙江嵊泗县东端的嵊山岛,距离大陆最近距离达 81.1 km,第二次国土资源调查资料显示其建设用地达 109.52×10^4 m^2,占岛陆总面积 25%以上[70];上海崇明岛 2013 年建设用地占全岛面积不到 13%,但在海岛各区域以居民点和道路的形式普遍分布,使得海岛景观破碎化强烈,生物多样性遭到损害[71]。同时,城乡建设间接带来不同类型和程度的污染物排放,可能会对大气环境、水环境、声环境、土壤环境等造成影响,如上海崇明岛陈海和北沿公路两侧土壤重金属含量明显较高,Cd 污染严重,道路交通是其土壤重金属的主要来源[72]。

(2)海洋和海岸工程

以岛滩和环岛近海为基底开展的海洋和海岸工程包括港口码头建设、海岸防护工程、填海造陆、跨海桥梁、海底隧道等,开发利用程度较高的海岛往往涉及该类工程。海洋和海岸工程直接改变海岛岸线和海底地形,占用生物栖息地,显著影响环岛近海的水动力和泥沙冲淤环境,并可能带来生态服务价值的丧失。浙江洞头县海岛 2004—2010 年围填海面积约 10 km^2,造成环岛近海海洋生态服务价值损失达 1.36 亿元/a[73]。某些项目如仓储码头在运营期由于污染物排放或泄露还会产生持续的影响。不过,部分海洋和海岸工程的兴建对巩固生态系统稳定性具有重要作用,如泥沙岛环岛海堤能够有效提升海岛防灾减灾能力,减少海岸侵蚀;人工鱼礁能够显著提升环岛近海的生物多样性等。

海岛与大陆之间跨海桥梁或海底隧道的兴建直接改变了海岛生态系统空间隔离性的典型特征,显著提升了海岛对外物质、能量和信息流通能力,同时也影响环岛近海的水动力条件、海水水质和生物资源[23]。

(3)农田开垦

农田开垦是我国海岛重要的岛陆空间利用类型,在有居民海岛和部分无居民海岛上或多或少均有农田开垦或其痕迹,在特定海岛上,农田占有重要地位。上海崇明岛作为中国最大的泥沙岛,地势平坦,农田面积约 840 km^2,占海岛总面积的 60%[71];山东长岛县的北长山岛为基岩岛,地势较为起伏,仍有 20%以上的岛陆开垦为农田[44]。农田开垦直接改变海岛地表形态和生物栖息地,影响海岛生物群落结构和生物多样性,也可能间接导致水土流失,引发农业污染,对岛陆土壤及环岛近海造成影响。上海崇明岛农田土壤重金属含量总体高于上海市背景值,且菜地的污染最为严重,这与农药使用密切相关[74]。

(4)旅游

海岛独特的自然风光和人文气息成为全球重要的旅游地。海岛旅游涉及岛陆、岛滩和环岛近海各部分,在推动海岛社会经济发展的同时也对海岛生态系统带来影响。首先,游客在旅游过程中可能通过破坏生境、排放废弃物等行为对环境产生影响[75]。此外,海岛各类旅游设施的兴建直接改变海岛地表形态,侵占生物栖息地。旅游与城镇化之间是相互促进和相互协调的[76],海岛旅游的快速发展能够推动城乡建设、海洋和海岸工程兴建等。山东长岛县为打造我国北方生态旅游度假岛,于南长山岛西海岸填海造地约 68×10^4 m^2 建设西海岸休闲文化广场,在北长山岛月牙湾西侧建立约 7.8×10^4 m^2 的地产项目“长岛国际度假村”。同时,旅游业带来的外来人口进入、旅游设施的建设以及海岛产业结构的变化也会对海岛社会文化带来冲击,海岛居民价值观受到影响,传统文化特色变味或丧失,人居环境趋于复杂。

(5)养殖与捕捞

海岛养殖以岛滩和环岛近海为基底开展,是海岛最主要的开发利用活动之一。根据方式、种类、规模和强度的不同,养殖的环境影响也具有差异[77]。围海养殖直接改变海岛岸线和海底地形,占用生物栖息地并排放污染物,影响海洋水动力环境和泥沙冲淤环

境。一些距离大陆较近的海岛,如山东海阳丁字湾北侧的麻姑岛,海岛周边大规模的养殖池将其直接与大陆相连,对海岛生态属性带来了深刻的影响。开放式养殖的环境影响主要表现在改变群落结构和排放部分污染物,影响与围海养殖相比较小,如山东长岛的大钦岛,环岛近海开展了大规模的海带开放式养殖,但其环境影响总体不大。

海洋捕捞同样是海岛渔民的重要收入来源,其直接改变环岛近海群落结构,减少海洋生物量。过度的捕捞是破坏海洋生态平衡、损害海洋资源的重要因子。我国最大的渔场——舟山渔场,位于舟山群岛附近,由于长期过度捕捞使得渔获率大大降低,渔业资源不断衰退,鱼类群落结构发生显著变化[78]。

(6)其他人类干扰

影响海岛生态脆弱性的其他人类干扰主要包括航运、矿产与能源开发等。航运是海岛与外界沟通的重要方式,航运过程中产生的污染物如不加以适当处理会带来负面影响,同时航运也是外来生物入侵的主要途径之一。海岛矿产与能源开发包括岛陆、岛滩和环岛近海范围内的金属矿、非金属矿、可燃有机物等各类矿产以及太阳能、风能、海洋能等新能源的开发。其中,矿产开发不仅占用空间资源,直接破坏生境,还可能排放污染物对周边环境带来影响。矿产开发和运输过程中的突发事故(如溢油)会对海岛生态系统造成严重破坏。2006—2008 年,山东长岛县海域连接发生 4 起溢油污染事件,严重影响了海洋环境质量和渔业资源[59]。我国海岛风能资源丰富,近年来风电在我国海岛得到了广泛建设,山东长岛、上海崇明岛,浙江玉环岛、大陈岛、洞头岛和舟山各岛、福建平潭岛和东山岛,以及广东南澳岛和上、下川岛等海岛上均建有较大规模风电场,在其他众多海岛上也建有各类风力发电设施[79]。风电被誉为绿色能源,但有研究发现,风电运行过程中产生的噪声、光影闪动和空间阻隔实际上具有一定环境影响,特别是对鸟类的栖息、觅食、迁移、存活和繁殖可能带来干扰[80—81],我国海岛大都位于重要的鸟类迁徙通道,因此海岛风电的生态影响不容忽视。

海岛周边大陆地区社会经济活动也会对海岛生态系统造成压力。由于海水的流动性和连通性,大陆地区的围填海、污染物排放等行为可能影响到海岛生态系统的水动力条件和环境质量,大陆滨海旅游的蓬勃也能带动海岛旅游事业的发展,若旅游开发强度过大会对海岛生态系统带来不可逆的改变。

海岛生态系统干扰的分类及其主要影响见表 1。

表 1　海岛生态系统干扰的分类及其主要影响

Tab. 1　Classification and main effects of disturbances to island ecosystem

一级	二级	具体内容	主要影响
自然扰动	气象灾害	大风、干旱、暴雨、寒潮等	改造地形地貌,侵蚀土壤,胁迫植物;破坏各类设施;制约海岛对外交通
	海洋灾害	风暴潮、灾害性海浪、海啸、赤潮等	破坏农田、植被和各类设施;引发海岸侵蚀、海水入侵等其他自然灾害;危害社会经济;制约海岛对外交通;恶化海洋环境质量,破坏渔业资源(赤潮)
	地质灾害	突发性:崩塌、滑坡、泥石流、地震等 渐变性:海岸侵蚀、海水入侵、地面沉降等	突发性:短期、剧烈的影响,破坏地形地貌、植被和各类设施 渐变性:长期、缓慢的影响,导致海岛岸线后退、淡水水质恶化、土壤盐渍化等
	其他自然扰动	生物入侵(含病虫害)、林火等	威胁原生植物群落,破坏生物多样性;毁坏森林
人类干扰	城乡建设	城乡住宅、交通、市政、商业、工业、仓储以及其他各类设施的建设	直接影响:改变地表形态,侵占生物栖息地,割裂自然景观 间接影响:排放污染物
	海洋和海岸工程	港口码头、海岸防护工程、填海造陆、跨海桥梁、海底隧道等	直接影响:改变岸线和海底地形,侵占生物栖息地,影响环岛近海的水动力环境和泥沙冲淤环境 间接影响:排放或泄露污染物
	农田开垦	耕地、菜地、园地等	直接影响:改变地表形态,侵占生物栖息地,影响生物群落结构和生物多样性 间接影响:水土流失,农业污染
	旅游	旅游设施建设、游客行为等	改变地表形态,侵占生物栖息地,促进城乡建设和海洋海岸工程兴建;破坏生境、排放污染物;对海岛传统社会文化带来冲击

续表 1

一级	二级	具体内容	主要影响
	养殖与捕捞	围海养殖、开放式养殖;捕捞	围海养殖:改变岸线和海底地形,占用生物栖息地,排放污染物,影响环岛近海的水动力环境和泥沙冲淤环境 开放式养殖:改变环岛近海的群落结构,排放污染物 捕捞:改变环岛近海生物群落结构,减少海洋生物量
	其他人类干扰	航运、矿产能源开发、大陆地区社会经济活动等	航运:排放污染物,引发生物入侵 矿产能源开发:占用空间资源,破坏生境,排放污染物;引发溢油等突发事故;可能影响鸟类迁徙(风电场) 大陆地区社会经济活动:排放污染物、改变水动力条件;间接促进海岛开发利用活动

5 结论与展望

海岛生态系统自身条件特殊,面临着复杂的自然扰动和人为干扰,拥有着明显的脆弱性,主要表现为长期形成的、时空分异的、可调控的易受损性和难恢复性。本文能够提供一套科学、统一且针对性强的海岛生态脆弱性概念体系(图 1),为海岛生态脆弱性的深入研究提奠定理论基础,也为海岛的合理开发、科

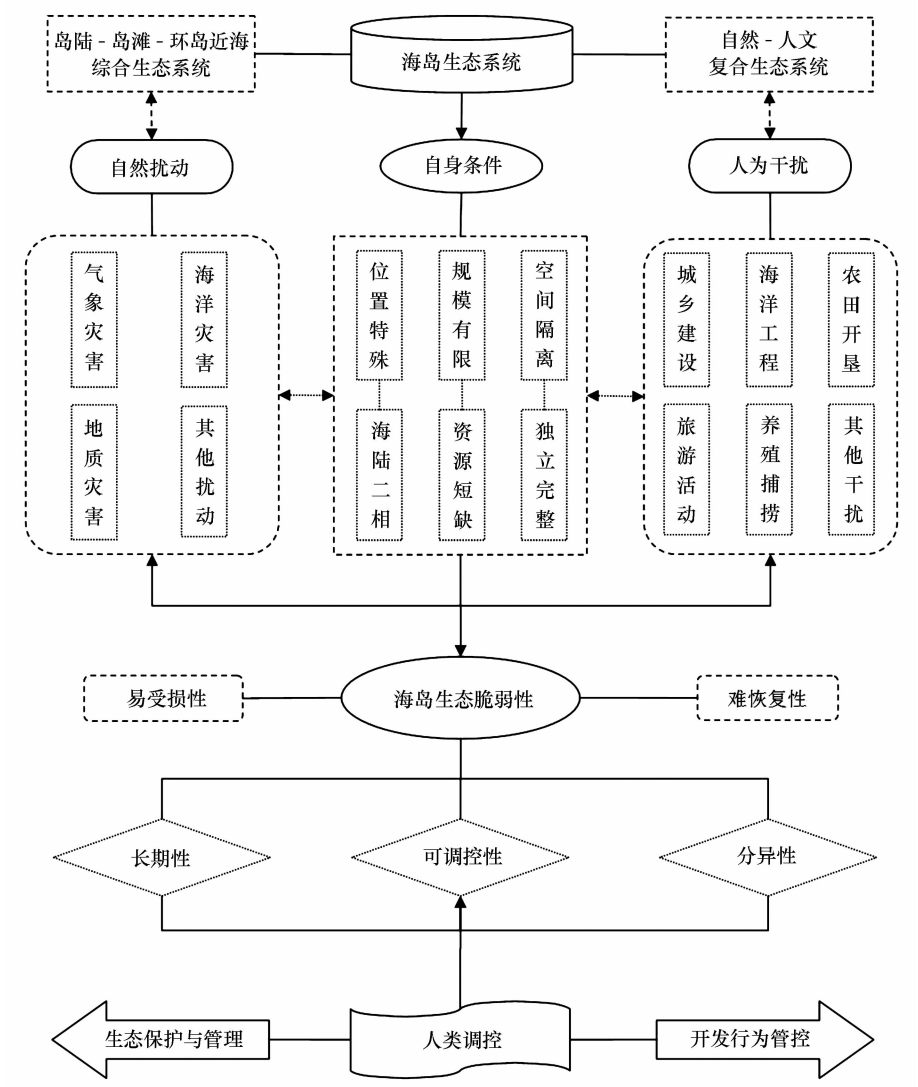

图 1 海岛生态脆弱性概念体系

Fig. 1 Conceptual system of island ecological vulnerability (IEV)

学保护和有效调控提供依据。下一步的研究工作应重点从以下几个方面开展:(1)基于海岛的共性和个性特征,建立兼具科学性和可操作性的海岛生态脆弱性评价指标体系和评估方法,定量评估海岛生态脆弱性的现状及历史变化特征;(2)通过不同手段和方法,构建海岛生态脆弱性的监测、预警和调控技术体系;(3)根据海岛自身特点、区域特征和人类干扰的差异选择典型海岛,开展典型海岛生态脆弱性评估、预警和调控应用示范。

参考文献:

[1] Dow K. Exploring differences in our common future(s): The meaning of vulnerability to global environmental change[J]. Geoforum,1992,23(3): 417－436.

[2] 宋一兵,夏斌,匡耀求. 国内外脆弱性研究进展评述研究[J]. 环境科学与管理,2014,39(6): 53－58.
Song Yibing,Xia Bin,Kuang Yaoqiu. Review on researches of overseas and domestic on vulnerability[J]. Environmental Science and Management,2014,39(6): 53－58.

[3] Timmerman P. Vulnerability,Resilience and the Collapse of Society: A Review of Models and Possible Climatic Applications[M]. Toronto: Institute for Environmental Studies,University of Toronto,1981.

[4] Briguglio L. Preliminary study on the construction of an index for ranking countries according to their economic vulnerability[R]. Geneva: UNCTAD /LDC/Misc 4,1992.

[5] 徐广才,康慕谊,贺丽娜,等. 生态脆弱性及其研究进展[J]. 生态学报,2009,29(5): 2578－2588.
Xu Guangcai,Kang Muyi,He Lina,et al. Advances in research on ecological vulnerability[J]. Acta Ecologica Sinica,2009,29(5): 2578－2588.

[6] Füssel H M. Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research[J]. Global Environmental Change,2007,17(2): 155－167.

[7] Adger W N. Vulnerability[J]. Global Environmental Change,2006,16(3): 268－281.

[8] Liverman D M. Vulnerability to global environmental change[C]// Understanding Global Environmental Change: The Contributions of Risk Analysis and Management. Worcester,M A: Clark University,1990: 27－44.

[9] Newell B,Crumley C L,Hassan N,et al. A conceptual template for integrative human-environment research[J]. Global Environmental Change,2005,15(4): 299－307.

[10] 牛文元. 生态环境脆弱带 ECOTONE 的基础判定[J]. 生态学报,1989,9(2): 97－105.
Niu Wenyuan. The discriminatory index with regard to the weakness,overlapness,and breadth of ecotone[J]. Acta Ecologica Sinica,1989,9(2): 97－105.

[11] 赵桂久,刘燕华,赵名茶,等. 生态环境综合整治与恢复技术研究(第一集)[M]. 北京: 北京科学技术出版社,1993.
Zhao Guijiu,Liu Yanhua,Zhao Mingcha,et al. Researches of Restoration and Comprehensive Management and Control of Ecoenvironment (Series No. 1)[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press,1993.

[12] 赵桂久,刘燕华,赵名茶,等. 生态环境综合整治与恢复技术研究(第二集)[M]. 北京: 北京科学技术出版社,1995.
Zhao Guijiu,Liu Yanhua,Zhao Mingcha,et al. Researches of Restoration and Comprehensive Management and Control of Ecoenvironment (Series No. 2)[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press,1995.

[13] 田亚平,常昊. 中国生态脆弱性研究进展的文献计量分析[J]. 地理学报,2012,67(11): 1515－1525.
Tian Yaping,Chang Hao. Bibliometric analysis of research progress on ecological vulnerability in China[J]. Acta Geographica Sinica,2012,67(11): 1515－1525.

[14] Yamano H. Islands without map integrating geographic information on atoll reef islands and its application to their vulnerability assessment and adaptation to global warming[J]. Journal of Geography,2008,117(2): 412－423.

[15] Morgan L K,Werner A D. Seawater intrusion vulnerability indicators for freshwater lenses in Strip Islands[J]. Journal of Hydrology,2014,508(16): 322－327.

[16] Taramelli A,Valentini E,Sterlacchini S. A GIS-based approach for hurricane hazard and vulnerability assessment in the Cayman Islands[J]. Ocean and Coastal Management,2015,108: 116－130.

[17] Fairbairn T I J. Economic vulnerability and resilience of small island states[J]. Island Studies Journal,2007,2(1): 133－140.

[18] Mcgillivray M,Naudé W,Santos-Paulino D A U. Vulnerability,trade,financial flows and state failure in small island developing states[J]. Journal of Development Studies,2010,46(5): 815－827.

[19] Guillaumont P. Assessing the economic vulnerability of small island developing states and the least developed countries[J]. Journal of Development Studies,2010,46(5): 828－854.

[20] Bonati S. Resilientscapes: perception and resilience to reduce vulnerability in the Island of Madeira[J]. Procedia Economics and Finance,2014,18: 513－520.

[21] 王小龙. 海岛生态系统风险评价方法及应用研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所,2006.
Wang Xiaolong. Research on methods and application of risk assessment in island ecosystem[D]. Qingdao: Institute of Oceanology,Chinese Acad-

emy of Sciences,2006.

[22] 宋延巍. 海岛生态系统健康评价方法及应用[D]. 青岛：中国海洋大学,2006.
Song Yanwei. Health assessment methods and application of Island Ecosystem[D]. Qingdao: Ocean University of China,2006.

[23] 冷悦山,孙书贤,王宗灵,等. 海岛生态环境的脆弱性分析与调控对策[J]. 海岸工程,2008,27(2)：58－64.
Leng Yueshan,Sun Shuxian,Wang Zongling,et al. Vulnerability analysis of island ecological environment and regulating measures[J]. Coastal Engineering,2008,27(2): 58－64.

[24] 陈金华,郑虎. 旅游型海岛资源环境脆弱性研究——以福建湄洲岛为例[J]. 资源开发与市场,2014,30(7)：828－832.
Chen Jinhua,Zheng Hu. On vulnerability of resources and environment of tourism island——taking Meizhou Island as an example[J]. Resource Development & Market,2014,30(7): 828－832.

[25] 郭晓峰,吴耀建,姜尚,等. 海岛生态脆弱性驱动机制及对策措施初探——以平潭岛为例[J]. 海峡科学,2009(3)：3－5.
Guo Xiaofeng,Wu Yaojian,Jiang Shang,et al. Preliminary study on driving mechanism and corresponding measures of island ecological vulnerability——a case study of Pingtan Island[J]. Straits Science,2009(3): 3－5.

[26] 郭晓峰,李青生. 基于GIS的海岛生态脆弱性评价研究与实践——以海坛岛为例[J]. 环境保护科学,2011,37(5)：43－47.
Guo Xiaofeng,Li Qingsheng. Research and practice on island ecological frangibility assessment based on GIS——a case study of Haitan Island[J]. Environmental Protection Science,2011,37(5): 43－47.

[27] 肖佳媚,杨圣云. PSR模型在海岛生态系统评价中的应用[J]. 厦门大学学报(自然科学版),2007,46(S1)：191－196.
Xiao Jiamei,Yang Shengyun. Application of the PSR model to the assessment of island ecosystem[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science),2007,46(S1): 191－196.

[28] 余爱莲. 舟山典型海岛生态压力定量评价[D]. 舟山：浙江海洋学院,2014.
Yu Ailian. Zhoushan Islands typical quantitative evaluation of ecological pressure[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University,2014.

[29] 石洪华,郑伟,丁德文,等. 典型海岛生态系统服务及价值评估[J]. 海洋环境科学,2009,28(6)：743－748.
Shi Honghua,Zheng Wei,Ding Dewen,et al. Valuation and ecosystem services of typical island[J]. Marine Environmental Science,2009,28(6): 743－748.

[30] 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.

[31] 马世骏,王如松. 社会－经济－自然复合生态系统[J]. 生态学报,1984,4(1)：1－9.
Ma Shijun,Wang Rusong. The social-economic-natural complex ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica,1984,4(1): 1－9.

[32] 丁德文,石洪华,张学雷,等. 近岸海域水质变化机理及生态环境效应研究[M]. 北京：海洋出版社,2009.
Ding Dewen,Shi Honghua,Zhang Xuelei,et al. Research on Variation Mechanism and Ecological Environment Effect of the Water Quality of the Offshore Marine Areas[M]. Beijing: China Ocean Press,2009.

[33] IPCC. Climate change 2001: Impacts,Adaptation and Vulnerability[M]// McCarthy J J,Canziani O F,Leary N A,et al. Contribution of Working Group Ⅱ to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press,2001.

[34] 刘燕华,李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展[M]. 北京：商务印书馆,2001.
Liu Yanhua,Li Xiubin. Vulnerable Ecological Environment and Sustainable Development[M]. Beijing: The Commercial Press,2001.

[35] 王小丹,钟祥浩. 生态环境脆弱性概念的若干问题探讨[J]. 山地学报,2003,21(S1)：21－25.
Wang Xiaodan,Zhong Xianghao. Approaches to concept of vulnerability of ecology and environment[J]. Journal of Mountain Science,2003,21(S1): 21－25.

[36] 陈萍,陈晓玲. 全球环境变化下人－环境耦合系统的脆弱性研究综述[J]. 地理科学进展,2010,29(4)：454－462.
Chen Ping,Chen Xiaoling. Summary on research of coupled human-environment system vulnerability under global environmental change[J]. Progress in Geography,2010,29(4): 454－462.

[37] O'Brien K,Eriksen S,Schjolden A,et al. What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research[R]. Oslo,Norway: CICERO Center for International Climate and Environmental Research,CICERO Working Paper,2004.

[38] 宋玉双,臧秀强. 松材线虫在我国的适生性分析及检疫对策初探[J]. 中国森林病虫,1989(4)：38－41.
Song Yushuang,Zang Xiuqiang. Preliminary study on adaptability analysis and quarantine measure of *Bursaphelenchus xylophilus* in China[J]. Forest Pest and Disease,1989(4): 38－41.

[39] 石洪华,王晓丽,王媛,等. 北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子[J]. 生态学报,2013,33(19)：6363－6372.
Shi Honghua,Wang Xiaoli,Wang Yuan,et al. Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago[J]. Acta Ecologica Sinica,2013,33(19): 6363－6372.

[40] Van Mantgem P J,Stephenson N L. Apparent climatically induced increase of tree mortality rates in a temperate forest[J]. Ecology Letters,2007,10(10): 909－916.

[41] 汪来发,李占鹏,秦绪兵,等. 流胶法在长岛县防治松材线虫病中的应用[J]. 林业科学,2004,40(3)：175－178.
Wang Laifa,Li Zhanpeng,Qin Xubing,et al. Application of Oleoresin Exudation Method for controlling pine wood nematode diseaseby *Bursaphelenchus xylophilus* in Changdao County of Shandong Province[J]. Scientia Silvae Sinicae,2004,40(3): 175－178.

[42] 赵博光,王石发,张志超,等. 防治松萎蔫病的新策略及林间防效初报[J]. 林业科技开发,2012,26(2)：13－15.
Zhao Boguang,Wang Shifa,Zhang Zhichao,et al. A preliminary report of the new strategy on eradicating epidemic pine wilt disease and its applica-

tion effects in a pine forest[J]. China Forestry Science and Technology,2012,26(2):13－15.

[43] 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.
Shi Honghua,Ding Dewen,Zheng Wei,et al. Key Technology and its Application of Evaluation,Simulation and Regulation of Complex Ecosystem in Coastal Zone[M]. Beijing:China Ocean Press,2012.

[44] 池源,石洪华,王晓丽,等. 庙岛群岛南五岛生态系统净初级生产力空间分布及其影响因子[J]. 生态学报,2015(23),doi:10.5846/stxb201405040880.
Chi Yuan,Shi Honghua,Wang Xiaoli,et al. The spatial distribution and impact factors of net primary productivity in the island ecosystem of five southern islands of Miaodao Archipelago[J]. Acta Ecologica Sinica,2015 (23),doi:10.5846/stxb201405040880.

[45] Lagerström A,Nilsson M C,Wardle D A. Decoupled responses of tree and shrub leaf and litter trait values to ecosystem retrogression across an island area gradient[J]. Plant and Soil,2013,367(1/2):183－197.

[46] Nogué S,De Nascimento L,Fernández-Palacios J M,et al. The ancient forests of La Gomera,Canary Islands,and their sensitivity to environmental change[J]. Journal of Ecology,2013,101(2):368－377.

[47] 吴平生,彭补拙,窦贻俭. 初论海岸带的边缘效应[J]. 海洋与海岸带开发,1992,9(2):8－11.
Wu Pingsheng,Peng Buzhuo,Dou Yijian. Preliminary study on edge effect of coastal zone[J]. Development of Ocean and Coastal Zone,1992,9(2):8－11.

[48] Särkinen T,Pennington R T,Lavin M,et al. Evolutionary islands in the Andes:persistence and isolation explain high endemism in Andean dry tropical forests[J]. Journal of Biogeography,2012,39(5):884－900.

[49] Macarthur R H,Wilson E O. An equilibrium theory of insular zoogeography[J]. Evolution,1963,17(4):373－387.

[50] Macarthur R H,Wilson E O. The Theory of Island Biogeography[M]. Princeton:Princeton University Press,1967.

[51] Karels T J,Dobson F S,Trevino H S,et al. The biogeography of avian extinctions on oceanic islands[J]. Journal of Biogeography,2008,35(6):1106－1111.

[52] Paulay G. Biodiversity on Oceanic Islands:its origin and extinction[J]. American Zoology,1994,34(1):134－144.

[53] Shimizu Y. A vegetation change during a 20-year period following two continuous disturbances (mass-dieback of pine trees and typhoon damage) in the *Pinus-Schima* secondary forest on Chichijima in the Ogasawara (Bonin) Islands:which won,advanced saplings or new seedlings? [J]. Ecological Research,2005,20(6):708－725.

[54] Katovai E,Burley A L,Mayfield M M. Understory plant species and functional diversity in the degraded wet tropical forests of Kolombangara Island,Solomon Islands[J]. Biological Conservation,2012,145(1):214－224.

[55] Steinbauer M J,Beierkuhnlein C. Characteristic pattern of species diversity on the Canary Islands[J]. Erdkunde,2010,64(1):57－71.

[56] Donato D C,Kauffman J B,Mackenzie R A,et al. Whole-island carbon stocks in the tropical Pacific:Implications for mangrove conservation and upland restoration[J]. Journal of Environmental Management,2012,97:89－96.

[57] 李艳丽. 全球气候变化研究初探[J]. 灾害学,2004,19(2):87－91.
Li Yanli. A preliminary study on global climate change[J]. Journal of Catastrophology,2004,19(2):87－91.

[58] 高伟,李萍,傅命佐,等. 海南省典型海岛地质灾害特征及发展趋势[J]. 海洋开发与管理,2014(2):59－65.
Gao Wei,Li Ping,Fu Mingzuo,et al. Geological hazard characteristics and trend on typical islands in Hainan Province[J]. Ocean Development and Management,2014(2):59－65.

[59] 《中国海岛志》编纂委员会. 中国海岛志(山东卷 第一册)[M]. 北京:海洋出版社,2013.
China Islands Compiling Committee. Encyclopedia of China Islands (Shandong Province,Volume Ⅰ)[M]. Beijing:China Ocean Press,2013.

[60] 《中国海岛志》编纂委员会. 中国海岛志(江苏、上海卷)[M]. 北京:海洋出版社,2013.
China Islands Compiling Committee. Encyclopedia of China Islands (Jiangsu Province and Shanghai Municipality)[M]. Beijing:China Ocean Press,2013.

[61] 《中国海岛志》编纂委员会. 中国海岛志(福建卷 第三册)[M]. 北京:海洋出版社,2014.
China Islands Compiling Committee. Encyclopedia of China Islands (Fujian Province,Volume Ⅲ)[M]. Beijing:China Ocean Press,2014.

[62] 《中国海岛志》编纂委员会. 中国海岛志(广西卷)[M]. 北京:海洋出版社,2014.
China Islands Compiling Committee. Encyclopedia of China Islands (Guangxi Zhuang Autonomous Region)[M]. Beijing:China Ocean Press,2014.

[63] 《中国海岛志》编纂委员会. 中国海岛志(辽宁卷 第一册)[M]. 北京:海洋出版社,2013.
China Islands Compiling Committee. Encyclopedia of China Islands (Liaoning Province,Volume Ⅰ)[M]. Beijing:China Ocean Press,2013.

[64] 羊天柱,应仁方. 浙江海岛风暴潮研究[J]. 海洋预报,1997,14(2):28－43.
Yang Tianzhu,Ying Renfang. The study on the typhoon surge in the regions of Zhejiang islands[J]. Marine Forecasts,1997,14(2):28－43.

[65] 《中国海岛志》编纂委员会. 中国海岛志(广东卷 第一册)[M]. 北京:海洋出版社,2013.
China Islands Compiling Committee. Encyclopedia of China Islands (Guangdong Province,Volume Ⅰ)[M]. Beijing:China Ocean Press,2013.

[66] 杜军,李培英. 海岛地质灾害风险评价指标体系初建[J]. 海洋开发与管理,2010,27(S1):80－82.
Du Jun,Li Peiying. On the building of risk assessment system for geological hazards of island[J]. Ocean Development and Management,2010,27(S1):80－82.

[67] 李拴虎,刘乐军,高伟. 福建东山岛地质灾害区划[J]. 海洋地质前沿,2013,29(8):45-52.
Li Shuanhu,Liu Lejun,Gao Wei. Geo-hazard classification in Dongshan Island of Fujian Province[J]. Marine Geology Frontiers,2013,29(8):45-52.

[68] 刘乐军,高珊,李培英,等. 福建东山岛地质灾害特征与成因初探[J]. 海洋学报,2015,37(1):137-146.
Liu Lejun,Gao Shan,Li Peiying,et al. Characteristics and genesis of geological hazards in the Dongshan Island,Fujian Province[J]. Haiyang Xuebao,2015,37(1):137-146.

[69] 刘杜鹃. 中国沿海地区海水入侵现状与分析[J]. 地质灾害与环境保护,2004,15(1):31-36.
Liu Dujuan. The situation and analysis of salinity intrusion in coastal areas,China[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation,2004,15(1):31-36.

[70] 《中国海岛志》编纂委员会. 中国海岛志(浙江卷 第一册)[M]. 北京:海洋出版社,2014.
China Islands Compiling Committee. Encyclopedia of China Islands (Zhejiang Province,Volume I)[M]. Beijing:China Ocean Press,2014.

[71] 池源,石洪华,丰爱平. 典型海岛景观生态网络构建——以崇明岛为例[J]. 海洋环境科学,2015,34(3):433-440.
Chi Yuan,Shi Honghua,Feng Aiping. Typical island landscape ecological network establishment——a case study of Chongming Island[J]. Marine Environmental Science,2015,34(3):433-440.

[72] 王初,陈振楼,王京,等. 上海市崇明岛公路两侧土壤重金属污染研究[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(1):105-108.
Wang Chu,Chen Zhenlou,Wang Jing,et al. Heavy metal pollution of soils alongside roads of Chongming Island of Shanghai City[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2008,17(1):105-108.

[73] 隋玉正,李淑娟,张绪良,等. 围填海造陆引起的海岛周围海域海洋生态系统服务价值损失——以浙江省洞头县为例[J]. 海洋科学,2013,37(9):90-96.
Sui Yuzheng,Li Shujuan,Zhang Xuliang,et al. Appraisal on the value loss of marine ecosystem services about island reclamation——a case study of Dongtou[J]. Marine Sciences,2013,37(9):90-96.

[74] 孙超,陈振楼,毕春娟,等. 上海市崇明岛农田土壤重金属的环境质量评价[J]. 地理学报,2009,64(5):619-628.
Sun Chao,Chen Zhenlou,Bi Chunjuan,et al. Evaluation on environmental quality of heavy metals in agricultural soils of Chongming Island,Shanghai[J]. Acta Geographica Sinica,2009,64(5):619-628.

[75] 李军玲,张金屯,邹春辉,等. 旅游开发下普陀山植物群落类型及其排序[J]. 林业科学,2012,48(7):174-181.
Li Junling,Zhang Jintun,Zou Chunhui,et al. Type and sort of plant communities in Putuo Mountains under tourism development[J]. Scientia Silvae Sinicae,2012,48(7):174-181.

[76] 王新越. 我国旅游化与城镇化互动协调发展研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2014.
Wang Xinyue. Research on the interactive coordination development of touristization and urbanization in China[D]. Qingdao:Ocean University of China,2014.

[77] 崔毅,陈碧鹃,陈聚法. 黄渤海海水养殖自身污染的评估[J]. 应用生态学报,2005,16(1):180-185.
Cui Yi,Chen Bijuan,Chen Jufa. Evaluation on self-pollution of marine culture in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2005,16(1):180-185.

[78] 卢占晖,苗振清,林楠. 浙江中部近海及其邻近海域春季鱼类群落结构及其多样性[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版),2009,28(1):51-56.
Lu Zhanhui,Miao Zhenqing,Lin Nan. The structure and diversity fish communities in spring in the middle sea area of Zhejiang Province and adjacent region[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science),2009,28(1):51-56.

[79] 俞凯耀,席东民,胡玲静. 舟山群岛风力发电产业发展的现状与问题分析[J]. 浙江电力,2014(3):25-27.
Yu Kaiyao,Xi Dongmin,Hu Lingjing. Development of wind power generation industry and problem analysis in Zhoushan Islands[J]. Zhejiang Electric Power,2014(3):25-27.

[80] 王明哲,刘钊. 风力发电场对鸟类的影响[J]. 西北师范大学学报(自然科学版),2011,47(3):87-91.
Wang Mingzhe,Liu Zhao. The effects of wind farm on birds[J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science),2011,47(3):87-91.

[81] Erickson W P,Johnson G D,Srickland M D,et al. Avian collisions with wind turbines:a summary of existing studies and comparisons to other sources of avian collision mortality in the United States[R]. Western Ecosystems Technology Inc. National Wind Coordinating Committee Resource Document,2001.

Connotation, features and causes of island ecological vulnerability

Chi Yuan[1], Shi Honghua[1], Guo Zhen[1], Ding Dewen[1]

(1. *The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao* 266061, *China*)

Abstract: The evident and distinctive vulnerability is the characteristics of island ecosystem, and poses a threat to ecological environment and social-economic development on island. It is the fundamental premise for maintaining island ecosystem and wise island utilization to accurately grasp and effectively control the island ecological vulnerability (IEV), and a set of scientific, unified and targeted conceptual system is the basis of IEV research. In view of the particularity of island ecosystem, related researched were based on, Chinese islands were paid more emphasis on, and a large number of typical cases of islands were analyzed to establish the conceptual system composed of connotation, features and causes. The connotation of IEV was proposed to be the vulnerability to damage and difficulty of restoration of island ecosystem under the unique conditions and various disturbances, and long-term, heterogeneity and controllability were the typical features of IEV. The special location, limited area and isolated space of island ecosystem made itself have both oceanic and terrestrial property, as well as resource-scarcity, independence and completeness, which were interacted with different kinds and degrees of natural and human disturbances and leaded to the occurrence and aggravation of IEV. The conceptual system can provide a practical foundation for deep analysis and rational control of IEV.

Key words: island ecosystem; island ecological vulnerability (IEV); connotation; causes; human disturbance