DOI:10.13990/j.issn1001-3679.2012.02.003

文章编号: 1001 - 3679(2012) 02 - 0152 - 06

湿地生态脆弱性研究综述

肖　磊[1],黄　晋[2],刘　影[1*]

(1. 江西师范大学地理与环境学院,江西　南昌 330022; 2. 江西师范大学科技园,江西　南昌 330027)

摘要: 湿地由于具有丰富的资源、独特的生态结构和功能而享有“自然之肾”之称。生态系统脆弱性研究是当前环境科学和生态学研究的热点问题之一,湿地生态系统脆弱性评价是湿地评价研究的新概念和新领域。在对生态脆弱性的相关概念进行讨论的基础上,对国内外湿地生态脆弱性研究进行了回顾。近年来,国内外湿地生态脆弱性评估发展很快,取得了丰硕的成果,但也存在一些问题和不足,如缺乏长时间序列数据支持; 对湿地脆弱性的复杂程度认识不足; 技术手段创新少等。因此,今后湿地脆弱性研究应该将重点放在理论探索和方法完善方面,对应用研究加强引导和规范,增强湿地脆弱性评估的科学性和说服力,为湿地的科学保护和管理提供有力的支持。

关键词: 湿地; 生态脆弱性; 研究进展; 评估框架

中图分类号: P941. 78; P962　　**文献标识码**: A

A Review on the Study of Wetland Ecological Vulnerability

XIAO Lei[1], HUANG Jin[2], LIU Ying[1*]

(1. School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Jiangxi Nanchang 330022 PRC;
2. Jiangxi Normal University Science Park, Jiangxi Nanchang 330027 PRC)

Abstract: Wetland is known as “Kidney of Nature” for its rich resources, unique ecological structure and function. The study on the vulnerability of ecosystem is one of the hot issues of the current environmental science and ecology study. The assessment of wetland ecological vulnerability is a new conception and a new domain of wetland assessment research. Based on the discussion of related conceptions of ecological vulnerability, the present study reviews the study of wetland ecological vulnerability at home and abroad. The assessment of wetland ecological vulnerability at home and abroad has developed very fast and made considerable achievements in recent years. Nevertheless, there are also some problems and deficiencies including lacking the support of long-time series data, insufficient understanding of the complexity of wetland, little innovation in technological means, etc. So hereafter, the study of wetland vulnerability should place emphasis on theoretical exploration and the perfection of method, reinforce the guidance and standardization of applied research, enhance the scientificalness and persuasion of the assessment of wetland vulnerability, and provide strong support for the scientific protection and management of wetland.

Key words: Wetland, Ecological vulnerability, Research progress, Assessment framework

---

收稿日期: 2012 - 03 - 15; **修订日期**: 2012 - 04 - 12

作者简介: 肖　磊(1987 -) ,江西赣州人,硕士研究生,主要从事资源与可持续发展研究。

基金项目: 江西省科技厅软科学计划项目(2010DR00701) ; 江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ09151) 。

* **通讯作者**: 刘　影,男,教授。Email: liuy64@ 126. com。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

0　引言

湿地是界于水体与陆地之间过渡的多功能生态系统,是生物多样性最丰富的基因信息库,也是对全球环境变化最为敏感的区域之一[1]。湿地不仅为人类提供大量食物、原料和水资源,而且在维持生态平衡、保持生物多样性和珍稀物种资源以及涵养水源、蓄洪防旱、降解污染、调节气候、补充地下水、控制土壤侵蚀等方面均起到重要的作用,是地球上最重要的自然生态系统之一[2]。湿地是出于水域和陆地过渡形态的自然体,由于其受力方式和强度以及频繁的侵蚀和堆积等而具有不稳定的特征,从而决定了湿地生态系统表现为一种脆弱和不稳定的特征[3]。湿地作为一个动态系统而不断发生着自然演变,除了自然因素造成的变化外,人类的各种间接和直接活动改变着湿地的生态进程[4]。近年来,随着人类开发自然活动的不断加剧与升温,湿地资源面临的威胁在急速加剧,因而湿地的生态脆弱性研究越来越引起人们的重视。对湿地的脆弱性特征进行研究,对于保护湿地环境和资源,维护区域生态环境的可持续发展具有重要的指导意义。

1　生态脆弱性概念

"脆弱性"作为一个术语已经被应用于各种领域,例如社会学和医学; 在环境科学领域,脆弱性则是与气候变化相联系。生态脆弱性研究涉及到社会系统、自然生态系统以及社会——生态耦合系统三大类,脆弱性在不同的领域有着不同的理解,对脆弱性的定义也是不尽相同。20 世纪 80 年代末 90 年代初全球气候变暖及其影响逐渐受到国际社会的关注,脆弱性概念开始引入气候变化影响研究和评估当中,随后其内涵不断得到丰富和发展。

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 第 3 次评估报告将气候变化研究中的脆弱性定义为: "一个自然或社会系统容易遭受或没有能力应对气候变化(包括气候变率和极端气候事件) 不利影响的程度,是某一系统气候的变率特征、幅度、变化速率及其敏感性和适应能力的函数"。该定义涵盖了灾害、受灾度、后果(影响) 和适应能力, 并将脆弱性视为采取适应策略后气候变化的剩余影响[5]。殷永元认为系统相对气候变化的脆弱性,可以定义为这一系统在气候变异或变化情况下,其功能或结构可能遭受损害或破坏的趋势[6]。在生态脆弱性的概念在一定程度上与生态敏感性的概念相似,定义中有重叠的部分。对生态敏感性的概念有不同的表述,但都是大同小异,一般认为生态敏感性是指生态系统对人类活动干扰和自然环境变化的反映程度,说明发生区域生态环境问题的难易程度和可能性大小[7]。生态脆弱性是生态系统在特定时空尺度相对于外界干扰所具有的敏感反应和自我恢复能力,由此可见敏感性是脆弱性必不可分的组成部分,脆弱性是敏感性和自我恢复能力叠加的结果。生态弹性力这个概念最早出现在生态系统动力学中,是指系统抵御压力和压力减小时恢复的能力,现在多被用作生态系统健康评价的定性指标[4]。从概念上可以看出,生态脆弱性和生态弹性力在概念上也有一定相似之处,二者都关注于承压能力和恢复能力。不同的是,生态弹性力是正向指标,而生态脆弱性是逆向指标,二者关系可以理解为生态弹性力越大则生态脆弱性越低; 反之,生态弹性力越小则生态脆弱性越高。

目前对于脆弱性的定义并未有完全的一致,但多数研究仍以 IPCC 的定义为准则,认为脆弱性研究的基本内容包括系统变化的评估,系统响应变化的敏感性评价,变化对系统造成的潜在影响估测 ,以及系统对变化及其可能影响的适应性评价[8]。针对脆弱性的不同理解,Downing 总结了许多有关脆弱性问题研究的成果,认为脆弱性应主要包括 3 个方面: 首先是脆弱性应作为一个结果而不是一种原因来研究; 其次针对其他不敏感因子而言,其影响是负面的; 最后脆弱性是一个相对概念,而不是一个绝对的损害程度的度量单位[9]。

2　国外研究现状

脆弱性评估是湿地脆弱性研究的重要内容。在过去的 15 年,各国学者建立了多种用于气候变化脆弱性的评估框架。

IPCC CZMS(1992) 为各国进行脆弱性评估建立了通用方法,这一方法考虑了全球变化和海平面上升对人口、经济、生态、社会和粮食生产的潜在影响,共分 7 步进行[10]。在这项较早的湿地气候变化脆弱性评估工作中,确认了一些待解决的问题,包括: 风险管理、战略规划、信息收集和管理和进一步研究和监测。Downing 和 Doherty 在综

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

合多种气候脆弱性和适应性评价方法后，建立了一个用于湿地的脆弱性评估框架。该框架中的步骤和方法可用于改善湿地生态环境和保持湿地生态特性。他们强调这种评估方法应被视为一种迭代过程。这种评估方法是一种概念研究，目的在于促使利益相关方加强合作，建立相应机制，更好的应对气候变化带来的影响。Downing 和 Doherty 提出的评估框架及相关方法可以总结为以下几点：(1) 检查现有的生态和社会系统；(2) 利益相关方接触与分析；(3) 建立脆弱性分析矩阵，理解现有压力下的脆弱性；(4) 评估未来气候情景下的脆弱性；(5) 确认和评估潜在适应性战略和方法；(6) 讨论和总结。

1971 年 2 月，在伊朗的拉姆萨尔召开了“湿地及水禽保护国际会议”，会上通过了“国际重要湿地特别是水禽栖息地公约”(Convention on Wetlands of Importance Especially as Waterfowl Habitat)，简称《拉姆萨尔公约》。在过去的 40 多年里，《拉姆萨尔公约》相关机构一直致力于研究关于湿地评估和监测的方法。湿地脆弱性评估作为湿地评估的重要一环，尤其是与全球气候变化之间存在着紧密的联系，逐渐成为了湿地研究的焦点问题。《拉姆萨尔公约》秘书处在综合分析了大量相关研究后，于 2011 年 6 月出版了第 5 号技术报告。报告中定义了在湿地评估中脆弱性的概念，解释了脆弱性和风险评估之间的关系，概括了现有的脆弱性评估方法和途径，同时提出了一个湿地脆弱性评估框架。该评估框架有以下要素[11]：(1) 具体描述湿地现状(生态系统、社会系统状态，近期和现在存在的压力，现有条件)，缺乏数据地区可通过科学方法搜集专家和当地居民意见来弥补；(2) 具体描述现在和未来可能存在的压力，确定湿地在各种压力下的敏感度和适应能力；(3) 确定湿地在存在的压力可能产生影响和预期结果，建立响应机制；(4) 监测和适应性管理：确定管理所需必要实施步骤，确保达成管理目标。

从以上方法论和具体措施可以得出湿地脆弱性评估应被视为一个迭代过程，该过程包含以下几个步骤：(1) 确定可能会发生的风险事件和该事件可能对湿地系统产生的影响，确定湿地的敏感性和自适应能力；(2) 提出能够减少风险事件造成的负面影响的选择；(3) 系统的阐述适应性管理的理想成果，确保响应措施能够得到实施以确保达到预期结果。

国外学者在对典型的湿地生态脆弱性评估方面也做了大量的研究[12~16]。如 Charlie Stratford[17] 等建立了用于评估喜马拉雅地区湿地生态脆弱性的方法，并在尼泊尔费瓦湖脆弱性评估中具体运用到此方法。Catherine E Lovelock 和 Joanna Ellison[18] 分析了气候变化将对滨海湿地产生的影响，并具体评估了大堡礁的红树林和潮间湿地面对气候变化的脆弱性。W Carter Johnson[19] 等对北美洲坑洞草原区(the prairie pothole region)湿地进了脆弱性分析。Mai Trong Nhuan[20] 为越南春水国家湿地公园建立了地理信息系统数据库，采用空间多准则决策分析和双评价标准比较法分 3 个时候对该区湿地进行了脆弱性评价，并针对各区域的不同脆弱度，提出了相应的环境保护和恢复的对策。

3 国内研究现状

根据中国湿地的现状以及《湿地公约》分类系统，可将我国湿地分为河流、湖泊、沼泽、滨海和人工湿地五大类。目前我国湿地脆弱性已有了不少示范性试点研究，国内学者对不同空间尺度上的不同类型湿地脆弱性进行了分析和评估。

叶伟正[21] 的研究分析了淮河流域湿地的类型构成，从生态脆弱性的角度阐述了淮河流域湿地的脆弱性特征。指出了淮河流域湿地具有自然灾害频发的干扰性脆弱，湿地水资源紧缺的压力性脆弱，河道断流、湖泊干涸的灾变性脆弱，湿地水体污染严重的胁迫性脆弱，湿地生态系统面临退化威胁的衰退性脆弱和水土流失严重的波动性脆弱等特征并针对性的提出了流域湿地的可持续发展策略。

在 ECHAM5 气候模式下的预估数据，SRES-A1B 情景(中等排放情景)下，长江中下游地区的气候变化趋势为 2001 - 2050 年长江中下游地区变暖幅度为 0.02 ~ 2.13 ℃，且各月气温均呈上升趋势。于秀波[22] 等根据该变化趋势对长江中下游湿地进行了生态脆弱性分析，认为长江中下游地区湿地面对气候变化主要呈现出以下脆弱性特征：极端气候和灾害事件的频率对湿地影响将加大；水热分配变化可能引起湿地物种结构和生物群落变化；气候变化使湿地生物多样性受到威胁；湿地生态系统完整性遭到破坏。针对以上脆弱性特征提出了应对气候变化湿地生态系统适应性对策。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

湖泊湿地作为我国湿地的重要类型,一直得国内外学者的特别关注。我国第一大淡水湖鄱阳湖,其时令性水陆交替的水文条件,为湖滩草洲湿地生态系统的发育提供了良好条件,形成了高水湖相、低水陆相的独特生态景观。过去几十年中,许多学者对鄱阳湖湿地生态系统进行了大量的调查研究,获得了丰富的空间数据和相关资料。廖富强、刘影[23]等采用理论研究与实地调查、定性和定量相结合的研究方法,建立了完整的鄱阳湖典型湿地生态环境脆弱性评价指标体系,并运用模糊数学的方法对鄱阳湖湿地生态环境脆弱性进行评价。结果表明,鄱阳湖典型湿地生态环境脆弱性为 0.768,属于轻度脆弱状态。通过压力分析,发现影响鄱阳湖典型湿地生态环境脆弱性的制约因素主要是外部社会环境因素,主要包括围垦、不当的消灭血吸虫病措施、经济贫困与落后的生产生活方式以及亟待加强的湿地管理体制。

近年来洞庭湖区洪涝灾害的频发,使洞庭湖湿地生态脆弱带区域受到越来越多的关注。张春[24]等依据湿地生态特性及演化规律建立评价指标体系,利用层次分析法(AHP) 确定指标权重,利用综合指数法计算湿地的脆弱度。研究结果表明,洞庭湖湿地生态脆弱性等级为 3,证明该区湿地生态系统轻度脆弱。为保护洞庭湖区湿地环境,合理开发、利用湿地资源提供了依据。

沼泽湿地包括沼泽和沼泽化草甸(简称沼泽湿地) 是最主要的湿地类型。我国沼泽湿地面积 1 370.03 万 hm^2,占天然湿地面积的 37.85%。沼泽湿地在全国各省(自治区、直辖市) 均有分布,但是在寒温带、温带湿润地区,沼泽湿地分布比较集中。潘响亮[25]从水文景观角度对东北地区的典型湿地进行了分类,并将各类景观中的湿地对气候变化的脆弱性划分出了 5 个等级。他认为影响湿地面对气候变化脆弱性的主要因素是地形和补给水源因素。

三江平原湿地属低冲积平原沼泽湿地,依地形的微起伏形式纵横交织,构成丰富多彩的湿地景观,堪称北方沼泽湿地的典型代表,也是全球少见的淡沼泽湿地之一[26]。在刘振乾[27]的研究中,建立了湿地生态脆弱性评价指标体系和方法,并利用该方法对三江平原湿地进行了评价。经综合指数法计算,三江平原湿地生脆弱性等级为 6,证明该区湿地生态系统中度脆弱。

博斯腾湖属于内陆干旱区特殊的湿地生态系统,是我国最大的内陆淡水湖泊[28]。万洪秀[29]等通过对博斯腾湖流域的水资源及其湿地现状分析,采取了定性与定量相结合的方法,对博斯腾湖湿地进行了评价。评价结果显示博斯腾湖湿地生态系统为中度脆弱,在此基础上探讨了博斯腾湖湿地生态脆弱性的成因。指出人类活动通过叠加在自然变化背景上的影响程度日趋增强成为该区湿地生态环境的主导性脆弱因子。

滨海湿地是介于陆地和海洋生态系统间复杂的自然综合体,也是受陆地、海洋和人类活动共同作用下的具有典型生态“边缘效应”的地带,其生态环境相对脆弱。黄河三角洲是我国最大的三角洲,也是我国重要的滨海湿地。伊飞[30]在其研究中引入一种全新的多图层叠置计算方法,对黄河三角洲的生态脆弱进行了评价。评价结果显示该区生态脆弱程度大多处于一般脆弱到中度脆弱之间,人类的活动是决定黄河三角洲区域生态脆弱性稳定与否的主要要素之一。

随着“3S”技术的发展以及生态学、地理学等学科的交叉融合,湿地生态系统脆弱研究中也引入了 RS 和 GIS 技术方法[31~34]。付博[31]在 3S 技术的支持下进行了扎龙湿地生态脆弱性评价研究。研究中以压力-状态-响应框架模型作为评价模型,以 100 m × 100 m GRID 作为基本评价单元进行扎龙湿地生态脆弱性评价。最后输出评价结果—扎龙湿地生态脆弱性评价指标分级分布图,进行扎龙湿地及湿地内典型区域的评价结果分析。杨志荣[33]在对杭州湾湿地脆弱性评价的过程中,从遥感影像中提取相关湿地指数,并运用 ArcGIS9.0 软件进行栅格叠置分析得到综合分值。利用遥感和 GIS 手段,可从区域尺度对湿地进行脆弱性评价,使得评价结果更为直观,从而更好的为政策决策提供依据。

4　小结与研究展望

对湿地生态系统进行科学客观的脆弱性研究和评价是人们深入了解湿地生态系统现状和发展趋势的基础,是提高湿地保护和管理水平、制定科学的环境规划的前提,具有重要的理论和现实意义。但不同类型、区域的湿地生态脆弱性评价涉及地质、水文、气象、社会经济多种类型数据和学科知识,具有综合性和跨学科性,因而是一项较为艰巨的工作。回顾总结近年来国内外有关湿地生态脆弱性的研究,其特点及存在的问题有以下几

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

个方面。

(1) 缺乏可靠的长时间序列的数据支撑。在现有湿地生态脆弱性研究的的过程中,往往由于缺乏长时间序列数据支撑,而使得应该定量分析的环节被迫转向定性分析,导致得出的结果客观性和精确程度下降。在湿地脆弱性研究中,在分析湿地的自然机制、面对过去和现在压力的敏感性、潜在的阈值以及惯性和滞后效应时,都需要准确的、长期的数据支撑,而在我国的大部分湿地,都缺乏长期的、科学的监测,所以在数据收集这个环节,工作显得尤为困难。所以建立湿地生态监测体系,开展大范围、长时期的湿地生态监测是十分必要的,也是势在必行的。

(2) 对于湿地系统的脆弱性复杂性认识不足。任何一个湿地系统都有多重脆弱性,湿地系统中不同的子系统都有不同的脆弱性。在现有的脆弱性研究中,研究方法以模拟的方法居多,但受到模型自身特性的限制,使得模拟方法在生态脆弱性研究中的运用还存在较大的不确定性。湿地系统的复杂远比模型所能模拟的程度要高,所用模型对系统进行客观科学的模拟还存在疑问。脆弱性不同驱动因子之间往往相互关联、相互影响,而研究驱动因子之间的关系,尤其是非线性关系还有很大的困难。模型和模拟结果受到社会经济制度及其变化等因素制约,难以进行足够的实证分析,进一步加剧了研究中的不确定性。如何整合湿地系统的多重脆弱性是一个值得深入研究的方向。

(3) 评价技术手段引进多、创新少。从国内外湿地脆弱性评价研究情况来看,由于湿地类型不同、湿地所处的地理位置不同以及待评价的功能类型不同,所采取的评价方法也各不相同,使得评价结果很可能出现极大的差异。湿地生态脆弱性评价已有了一些方法,但这些方法大多是从针对其它系统脆弱性研究中引进的,专门针对湿地系统而开发的评价方法还比较缺乏。一些研究中所提出的评价方法,虽然都具有较好的科学性,且在一些方面能提供一定程度的有用信息,但是这些方法在实际操作中很难被实现,不能有效地应用于实践中。在现有的评价方法中,大多数还是停留在定性的水平上,少数方法虽然已经具有定量属性,但还存在不少问题。指标体系也不够完善,各类型湿地生态脆弱性评价指标的确定还不统一,指标的选取和层次分析法指标权重赋值主观性还比较强。今后的研究应不断完善现有的湿地脆弱性评价体系,并在现有基础上发挥创新精神,建立更加科学可靠的评价标准和方法,尤其需要注重定量评价方法,它是管理层进行决策的重要依据。

参考文献:

[1] 汤　博,李俊生,罗建武. 湿地生态风险评价综述[J]. 安徽农业科学,2009,(13):6104 - 6107.

[2] 叶慕亚. 鄱阳湖典型湿地生态环境脆弱性评价[D]. 江西师范大学,2006.

[3] 王学雷. 江汉平原湿地生态脆弱性评估与生态恢复[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2001,(2):237 - 240.

[4] 崔保山,杨志峰. 湿地学[M]. 北京:北京师范大学出版社,2006.

[5] 喻　鸥,阎建忠,张镱锂. 区域气候变化脆弱性综合评估研究进展[J]. 地理科学进展,2011,(1):27 - 34.

[6] 殷永元,王桂新. 全球气候变化评估方法及其应用[M]. 北京:高等教育出版社,2004:175.

[7] 欧阳志云,王效科,苗　鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报,2000,(1):10 - 13.

[8] 陈雅如,徐广才,康慕谊,等. 生态脆弱性及其研究进展[J]. 生态学报,2009,(5):2578 - 2588.

[9] 郑有飞,李海涛,吴荣军,等. 我国农业的气候脆弱性研究及其评价[J]. 农业环境科学学报,2009,(12):2445 - 2452.

[10] 李恒鹏,杨桂山. 全球环境变化海岸易损性研究综述[J]. 地球科学进展,2002,(1):104 - 109.

[11] Gitay H,Finlayson C M,Davidson N. A Framework for assessing the vulnerability of wetlands to climate change[R]. Ramsar Convention Secretariat,2011.

[12] West J,Babson A. Wetlands vulnerability assessments in support of management adaptation planning[R].

[13] Jia M. A geospatial methodology for assessing wetland vulnerability under anthropogenic pressures at a watershed scale[R]. University of Missouri,2006.

[14] Snoussi M,Ouchani T,Niazi S D. Vulnerability assessment of the impact of sea-level rise and flooding on the Moroccan coast: The case of the Mediterranean eastern zone[J]. Estuarine,Coastal and Shelf Science. 2008,77(2):206 - 213.

[15] Lloyd J W,Tellam J H,Rukin N,*et al*. Wetland vulnerability in east anglia: a possible conceptual framework

(下转第 167 页)

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献:

[1] 吕　庆,孙红月,尚岳全. 强度折减有限元法中边坡失稳判据的研究[J]. 浙江大学学报,2008,42(1):83 – 87.

[2] 袁英石,李　铭,何　盛. 有限元强度折减法在土质边坡中的应用[J]. 西部探矿工程,2009,21(7):18 – 21.

[3] 吴　明,傅旭东,刘　欢. 边坡稳定性分析中的强度折减法[J]. 土工基础,2006,20(1):49 – 52.

[4] 栾茂天,武亚军,年廷凯. 强度折减有限元法中边坡失稳的塑性区判据及其应用[J]. 防灾减灾工程学报,2003,23(3):1 – 8.

[5] 邱陈瑜,郑颖人,宋雅坤. 采用 ANSYS 软件讨论无衬砌黄土隧洞安全系数[J]. 地下空间与工程学报,2009,5(2):291 – 296.

[6] 江　权,冯夏庭,向天兵. 基于强度折减原理的地下洞室群整体安全系数计算方法探讨[J]. 岩土力学,2009,30(8):2483 – 2488.

[7] 张黎明,郑颖人,王在泉,等. 有限元强度折减法在公路隧道中的应用探讨[J]. 岩土力学,2007,28(1):97 – 101,106.

[8] 张晓燕. 隧道群整体安全系数计算方法与应用分析[J]. 中外公路,2009,29(3):143 – 145.

[9] 刘小文,张　功. 强度折减应用于隧道群整体稳定性分析的判据比较[J]. 南昌大学学报(工科版),2010,32(2):154 – 157.

[10] Duncan J M. State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slope[J]. Journal of Geotechnical Engineering,ASCE,1996,122(7):577 – 696.

[11] 赵尚毅,郑颖人,张玉芳. 极限分析有限元法讲座—II: 有限元强度折减法中边坡失稳判据探讨[J]. 岩土力学,2005,26(2):332 – 336.

(上接第 156 页)

and generalized approach[J]. Journal of Environmental Management. 1993,37(2):87 – 102.

[16] Nicholls R J,Hoozemans F M J. The Mediterranean: vulnerability to coastal implications of climate change[J]. Ocean & Coastal Management. 1996,31(2 – 3):105 – 132.

[17] Charlie S,Mike A,Gwyn R,*et al*. A vulnerability assessment method for wetlands in the Himalayan Region[R]. Centre for Ecology and Hydrology,2008.

[18] Catherine E L,Joanna E. Vulnerability of mangroves and tidal wetlands of the Great Barrier Reef to climate change[R].

[19] W Carter J,Bruce V M,Gilmanov T,*et al*. Vulnerability of Northern Prairie Wetlands to Climate Change[J].

[20] Mai T N. Assessment of Vietnam Coastal Wetland Vulnerability for Sustainable Use (Case Study in Xuanthuy Ramsar Site,Vietnam[J]. Wetlands Ecology,2009:1 – 16.

[21] 叶正伟. 淮河流域湿地的生态脆弱性特征研究[J]. 水土保持研究,2007,(4):24 – 29.

[22] 徐　明,马德超. 长江流域气候变化脆弱性与适应性研究[M]. 北京: 水利水电出版社,2009:194 – 219.

[23] 廖富强,刘　影,叶慕亚,等. 鄱阳湖典型湿地生态环境脆弱性评价及压力分析[J]. 长江流域资源与环境,2008,(1):133 – 137.

[24] 张　春,秦建新,谭子芳. 洞庭湖区湿地生态脆弱性研究[J]. 江苏环境科技,2007,(4):4 – 7.

[25] 潘响亮,邓　伟,张道勇,等. 东北地区湿地的水文景观分类及其对气候变化的脆弱性[J]. 环境科学研究,2003,(1):14 – 18.

[26] 三江平原湿地·百度百科[EB/OL]. http://baike.baidu.com/view/84604.htm.

[27] 刘振乾,刘红玉,吕宪国. 三江平原湿地生态脆弱性研究[J]. 应用生态学报,2001,(2):241 – 244.

[28] 夏　军,左其亭,邵民诚. 博斯腾湖水资源可持续利用[M]. 北京: 科学出版社,2003:3 – 25.

[29] 万洪秀,孙占东,王　润. 博斯腾湖湿地生态脆弱性评价研究[J]. 干旱区地理,2006,(2):248 – 254.

[30] 伊　飞. 黄河三角洲湿地生态脆弱性评价[D]. 北京: 中国地质大学(北京),2011.

[31] 付　博. 3S 技术支持下的扎龙湿地生态脆弱性评价研究[D]. 长春: 东北师范大学,2006.

[32] 付　博,姜琦刚,任春颖,等. 基于神经网络方法的湿地生态脆弱性评价[J]. 东北师范大学报(自然科学版),2011,(1):139 – 143.

[33] 杨志荣,吴次芳,刘　勇. 快速城市化地区湿地脆弱性评价—以杭州湾湿地为例[J]. 资源科学,2009,(2):243 – 249.

[34] 王永洁,侯建秋,佟　金. 扎龙湿地生态环境脆弱性研究[J]. 高师理科学刊,2007,(6):65 – 68.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net