

湿地退化的地质指标体系

余绍文¹, 周爱国², 孙自永²

YU Shao-wen¹, ZHOU Ai-guo², SUN Zi-yong²

1. 中国地质大学研究生院, 湖北 武汉 430074;

2. 中国地质大学环境学院, 湖北 武汉 430074

1. Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China

摘要:从湿地退化的原因、表现形式和湿地退化造成的危害 3 个方面分别提取筛选出影响指标、状态指标和后果指标, 构建成完整的湿地退化调查指标体系(CSR 模型)。从湿地退化对人类产生的压力、压力状态、人类的应对等方面提取压力指标、状态指标和响应指标, 构建成监测指标体系(PSR 模型)。综合调查指标体系和监测指标体系得到湿地退化的地质指标体系, 对评价湿地生态环境变化具有重要意义, 可为湿地管理、湿地恢复和重建提供技术基础。

关键词:湿地退化; 调查指标体系; 监测指标体系; CSR 模型; PSR 模型

中图分类号: X143 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2011)11-1757-06

Yu S W, Zhou A G, Sun Z Y. Geindicator system of wetland degradation. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30 (11): 1757-1762

Abstract: The wetland degradation investigation geindications system (CSR model) was established through selecting the cause indicators, state indicators and result indicators based on the analysis of causes, presentation and consequences of wetland degradation. The wetland degradation monitoring geindications system (PSR model) was composed of pressure indications, state indicators and response indicators extracted from the impact of wetland degradation on human activities, the status of the impact, and the response of human beings to the impact caused by wetland degradation. The wetland degradation geindications system, which was constructed by combining the wetland degradation investigation geindications system and the wetland degradation monitoring geindications system, has great significance in evaluating the eco-environmental change and provides the technical foundation for wetland management, restoration and re-establishment.

Key words: wetland degradation; investigation geindicator system; monitoring geindicator system; CSR model; PSR model

湿地是水陆交错的地带(占据一定的水域和陆地), 是常年或季节性被浅水淹没的区域。湿地是重要的自然资源, 又是独特的生态系统, 在抵御洪水、调节径流、改善气候、控制污染、维护区域生态平衡等方面发挥着重要作用, 被人们誉为“地球之肾”, 与森林、海洋并称为地球的三大生态系统^[1]。

由于自然和人为的原因, 世界湿地退化现象严

重, 据《千年生态系统评估》^①(2005 年 3 月)公布, 目前全球约有 50% 的湿地已经消失。研究湿地退化的过程、机制和湿地演化规律, 建立湿地退化的指示性标志、退化湿地临界指标和预警体系, 进行湿地退化等级评价, 可以为湿地管理、湿地恢复和重建提供理论依据。

目前, 湿地退化的指示指标主要集中于生物、物

收稿日期: 2010-07-19; 修订日期: 2011-10-28

资助项目: 中国地质调查局项目《生态环境变化地质指标体系研究》(编号: 1212010535502)

作者简介: 余绍文(1981-), 男, 在读博士, 研究方向为生态地质与环境地质。E-mail: yshw621@126.com

通讯作者: 周爱国(1966-), 男, 教授, 博士生导师, 从事环境地质、同位素水文地质研究。E-mail: aiguo Zhou@cug.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

理和化学方面,对于湿地的载体——地球相关的地质指标研究较少。20 世纪 90 年代美国曾开展了有关研究。1992 年,国际地科联环境规划地质科学委员会建立的国际地质指标工作组提出了可用于环境和地质监测的 27 项地质指标,其中与湿地退化相关的有:湿地范围、结构与水文,地下水位,地下水水质,湖水位与含盐量,土壤质量,河流流量,地表水质等。但是由于湿地类型多样、生态环境复杂,尚未有被全球公认的评价指标体系和评价分级标准。

1 地质指标体系的构建思路

生态环境变化都有其自身发生和发展的客观规律,人类活动只是加剧或延缓了其发展的进程。对于存在的环境地质问题,都需要分析其成因、影响因素、发育分布规律和现状,以及在人为干预下的发展趋势、造成的后果和危害等,建立“影响(Cause)–状态(State)–后果(Result)”模型,即 CSR 模型,利用 CSR 模型可以建立每一种环境地质问题的地质环境调查指标体系,用于地质环境调查评价工作^[2]。

通过关注和了解地质环境对人类有什么压力、

压力状态如何、人类如何应对等,采用压力(Pressure)–状态(State)–响应(Response)模型(PSR 模型)来构建地质环境监测指标体系,并通过监测应对措施的实施效果来检验地质环境监测指标的科学性和实用性^[2]。

调查指标体系和监测指标体系构成了中国湿地退化地质指标体系(图 1)。

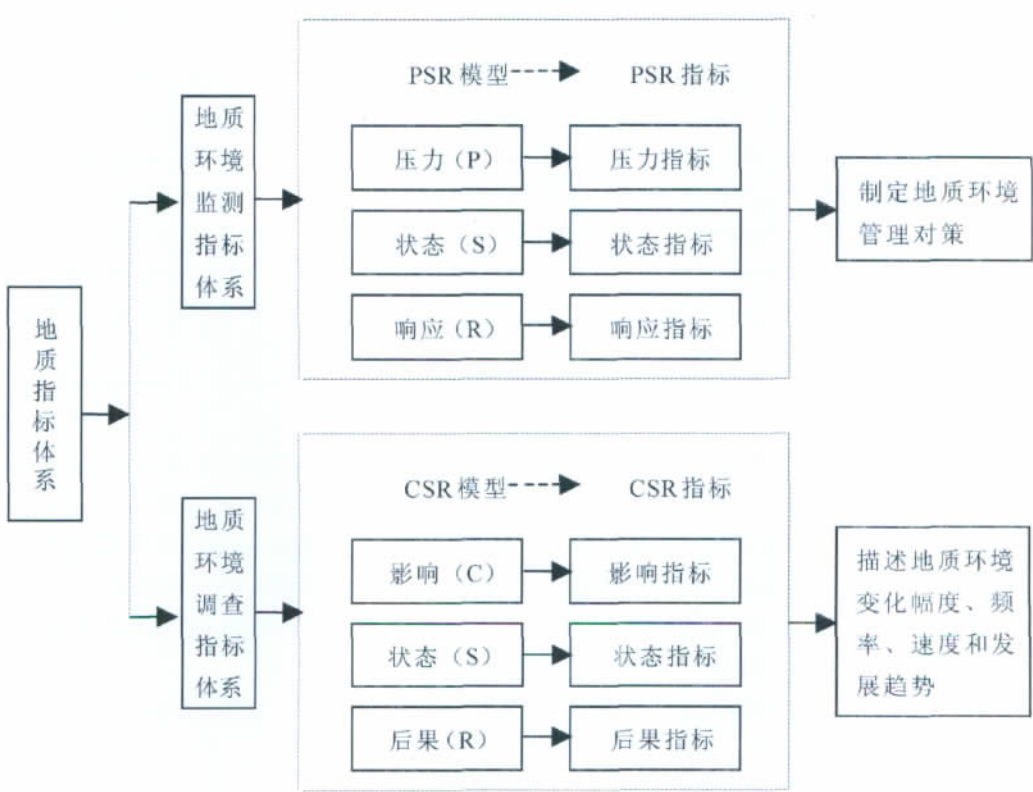
只有分析查明中国湿地退化的成因、现状和危害,认识湿地退化的机制,才能开展相应的评价、管理和规划工作。

2 湿地退化地质指标体系

2.1 调查指标体系

2.1.1 指标的分类

在总结分析国内外湿地生态系统观测指标体系的研究成果和资料的基础上,结合湿地退化指标体系的基本框架,将所有的湿地退化调查指标归为以下 3 类:①影响指标,反映外界对湿地生态系统干扰的指标;②状态指标,反映湿地自身状态和对外界干扰产生响应的指标;③后果指标,反映湿地退化对地



质环境造成危害的指标。

中国地域辽阔,地貌类型多样,地理环境复杂,气候条件各异,是世界上湿地类型齐全、数量丰富的国家之一。随着社会经济的发展,人们对湿地的干扰强度和对湿地资源的直接开发利用程度逐步加剧,中国不同区域的湿地生态环境都出现了各种程度的退化,湿地生态系统服务功能削弱甚至丧失。

通过分析中国湿地退化的原因、表现形式和湿地退化导致的危害,分别提取与地学相关的影响指标、状态指标和后果指标,从而构建出湿地退化的地质环境调查指标体系。

2.1.2 指标的提取

湿地退化是湿地生态系统的一种逆向演替过程,是指在外界干扰作用下,湿地生态系统原有结构遭到破坏、系统稳定性下降、抗干扰能力减弱、服务功能降低或丧失的过程。湿地退化地质指标则是指可对湿地退化过程中的结构、功能等状态参数,外界干扰因素和驱动力进行定量测度且具有科学可比性的一系列地学变量。选取科学合理的湿地退化地质指标,并对其开展长期的监测和评价工作,对于揭示湿地的形成和演化规律,构建湿地生态系统模型,评价湿地健康状况,阐明湿地退化原因,确定湿地对外界干扰的承载力,预测人类活动或自然条件、气候变化对湿地的影响,探索湿地保护的途径等,具有重要意义。

(1)影响指标

描述与刻画造成湿地退化的外界干扰的变量,可对湿地退化的原因进行监测和度量。由于对湿地的干扰并不局限于湿地本身,而可能在整个流域或集水区范围内产生,因此该类指标的选取借鉴流域生态学的思想,以流域或集水区为单元进行。

通过对湿地资源的调查发现,中国湿地退化的原因主要有水量减少、污染物排放、湿地资源开发利用和地质灾害四大类(表 1)。

水量减少:由于湿地获得的补给水量减少,湿地趋向于陆地化。水量减少的原因分为自然因素和人为活动因素:前者是指温度、降雨量、蒸发量、地表径流量和地下水位的变化而导致注入湿地的水量减少,干旱和半干旱地区对这类变化尤其敏感^[3];后者是指过度开采地下水、上游拦蓄地表水等人类活动导致湿地水量补给减少^[4]。

污染物排放:湿地是各类水源的汇区,在接受各

表 1 中国不同区域湿地退化的主要原因
Table 1 Major causes of wetland degradation
in different regions of China

湿 地 名 称	水量 减少	污染物 排放	湿地资源 开发利用	地质 灾害
东北湿地			+	
华北湿地	+	+	+	
长江中下游湿地		+	+	+
杭州湾北滨海湿地			+	+
杭州湾南滨海湿地			+	+
云贵高原和秦岭以南 山地丘陵湿地		+	+	
蒙新干旱半干旱湿地	+		+	
青藏高原湿地	+		+	

类水源的水分的同时,还容纳了随水流而来的大量污染物,成为流域污染物的汇集区或中转站。在水量得到保证的情况下,湿地能通过一系列的物理、化学和生物作用消纳一定量的污染物。但是由于工业、农业、城市等污染物排放量过高,超过湿地本身的净化能力,湿地生态系统机能受损,湿地生态系统退化,常表现为湖泊湿地的富营养化^[5]。

湿地资源的开发利用:对湿地资源的开发利用主要包括湿地土地利用和生物资源利用两大类^[6]。湿地土地资源的开发利用可造成湿地面积的减小、湿地景观的变化等;湿地生物资源的开发利用可造成湿地生物多样性的降低,最终导致湿地退化。

地质灾害:导致湿地退化的地质灾害有水土流失、海岸侵蚀和海水入侵。水土流失中,大量泥沙进入湿地,泥沙沉积速度远远超过湿地的自然演替过程,导致湿地面积不断减小;海岸侵蚀使得滨海湿地环境向深海环境转变,导致滨海湿地面积损失;海水入侵造成的后果是盐水入侵、水质恶化,海岸湿地生态环境和资源遭到破坏^[7]。

通过以上的分析,从水文地质、污染物排放、湿地资源的开发利用和地质灾害 4 个方面选取了湿地退化影响指标及其次级指标,见表 2。

由于中国不同区域湿地退化的主控因子不同,在湿地退化影响指标的监测强度上有所差异,见表 3。

(2)状态指标

状态指标是描述湿地生态系统结构或功能的状态参数,在湿地退化过程中变化最为显著,能有效地指示湿地的退化过程。由于状态指标反映的是湿地

表 2 湿地退化影响指标
Table 2 Cause indicators of wetland degradation

指标类型	类 别	次级指标	可监测的参数
影响指标	水文及水文地质	气候	温度、降雨量、蒸发量
		水利工程、地下水开采	水资源开采量、供水率
	污染物排放	水质污染	污水浓度及排放量、农药(化肥)利用率
	湿地资源开发	湿地土地利用 生物资源利用	土地垦殖率、土地利用 率 捕捞强度、畜牧强度
	地质灾害	水土流失	泥沙淤积量
		海岸侵蚀	海岸侵蚀强度
		海水入侵	海水入侵速率

自身的状态,该类指标只能在湿地范围内选取。

由于社会经济发展程度和自然背景的区域性差异,不同区域湿地的退化形式、退化程度和退化原因也存在着一定的差异。越来越多的证据表明,虽然湿地类型繁多,形态各异,但它们都有一些最基本的要素构成,表现出某些共同的特征和特性。

在景观方面,湿地的独特性最为突出,与陆地生态系统和水域生态系统的区别也最为显著。在生物方面,湿地都具有很高的生物多样性,生物类别表现出显著的水-陆“边缘效应”;在水文方面,湿地处于季节性或永久淹水状态,水分充足,且在水的贮存、运移和其它由水主导的生态过程中具有独特的过渡性特点;在土壤方面,由于长期处于缺氧状态,且位于流域内物质的汇区,湿地生物死亡后形成的腐殖质也极为丰富,形成了养分充足、炭质含量高的“水成土”,土壤的物理、化学性质都与陆地、深水土壤有别。

在湿地退化过程中,湿地自身的变化也主要表现在湿地景观、湿地生物、湿地水文、湿地水质和湿地土壤 5 个方面。湿地退化的状态指标选取见表 4。

(3)后果指标

后果指标刻画的是湿地退化所产生的环境效应。对湿地监测时,关注的重点是与人类生产生活密切相关的服务功能的变化,指标的选取也侧重于湿地功能方面,选取的范围也扩展到湿地所处的整个流域。

在自然条件变化和人为作用下的湿地退化,其主要危害表现在以下几个方面,指标的选取见表 5。

区域环境恶化:湿地退化后,湿生植被演变为中

表 3 中国不同区域湿地退化影响指标的监测强度

Table 3 Cause indicators' monitor intensity
of wetland degradation in different regions of China

湿 地 名 称	水文与水文地质	污染物排放	湿地资源开发利用	地质灾害
东北湿地	+	+	++	+
华北湿地	++	++	++	+
长江中下游湿地	+	++	++	++
杭州湾北滨海湿地	+	+	++	++
杭州湾南滨海湿地	+	+	++	++
云贵高原和秦岭以南山地丘陵湿地	+	++	++	+
蒙新干旱半干旱湿地	++	+	++	+
青藏高原湿地	++	+	++	+

注: +一般监测内容,在监测点设置和监测频率上可适度放疏;
++重点观测内容,在监测点设置和监测频率上应适度加密。对于内陆湿地,“地质灾害”一级指标中的“海岸侵蚀”、“海平面上升”和“海水入侵”3 项二级指标不予监测

生或旱生植被,覆盖率降低,扩大了地表蒸腾蒸发,加剧了干旱化、盐渍化和风沙化的程度,导致区域环境恶化^[8],青藏高原湿地的退化就是典型^[9]。

局地小气候改变: 湿地对局部气候有明显的冷湿效应^[10]。由于湿地土壤积水或经常处于过湿状态,水的热容量大,消耗太阳能多,地表增温困难。湿地的蒸腾作用可保持当地的空气湿度和降雨量。三江平原的东部湿地区比已垦湿地区气温低 0.4℃,原始湿地比开垦后的农田贴地气层日平均相对湿度高 5%~16%^[11]。

水源涵养功能衰退或丧失: 湿地面积减小或向陆地化发展,导致其容积变小,拦截径流、蓄积暴雨、调蓄洪水的功能受到破坏。如洞庭湖湖面面积从 20 世纪 50 年代初的 4300km² 缩小到 2600km²,调洪能

表 4 湿地退化状态指标
Table 4 State indicators of wetland degradation

指标类型	类 别	次级指标	可 监 测 的 参 数
状态指标	湿地景观	湿地面积	湿地面积退化率
		斑块	斑块数量、破碎度
	湿地生物	动物	种类、外来物种数量、动物体内有毒物质含量
		植物	种类、生产量、优势种
		浮游藻类	浮游藻类密度、种类
	湿地水文	水量均衡	湿地地表水位、地下水位、湿地补给水量、输出水量、容量
	湿地水质	水质级别	水温、pH 值、BOD、COD、N、P、重金属、有机污染物等浓度
	湿地土壤	物理性质	底泥厚度、土壤类型、孔隙度、透水率、通气性
		化学性质	土壤有机质、N、P、K、污染物含量、 E_h 值

表 5 湿地退化后果指标
Table 5 Result indicators of wetland degradation

指标类型	类 别	次级指标	可监测的参数
后果指标	气候调节功能	温度、湿度、蒸发量	植物冠层内温度、湿度及蒸发量
		植被覆盖度	植被覆盖度
	水源涵养功能	水量	容量
	生产功能	生物生产量	动物生产量、植物生产量
	净化功能	水环境容量	绝对容量、年容量
		出入口水质级别	水温、pH 值、BOD、COD、N、P、重金属、有机污染物等

表 6 湿地退化地质环境监测指标体系
Table 6 Monitoring indicator system of geo-environmental in wetland degradation

指标类型	类 别	次级指标	可测量的参数
压力指标	水源涵养功能	水量	容量
	净化功能	水质	水质级别
状态指标	湿地景观	湿地面积	湿地面积退化率
	湿地水文	水量均衡	湿地地表水位、地下水位
	湿地水质	水质级别	水温、pH 值、BOD、COD、N、P、重金属、有机污染物等
响应指标	水文及水文地质	水利工程	水资源开采量、供水率
	水质	污染物排放	污水排放量、农药（化肥）利用率

注:“湿地面积”以现有湿地面积内退化湿地面积的百分比来表示,以湿地的盐碱化、沙化、植被退化面积来衡量;“湿地水质”可用水质级别量化,河道和沼泽地水质以《地表水环境质量标准》(GHZ-B1-1999)中Ⅲ水域水质标准评定

力从 $293\times10^8\text{m}^3$ 削减到 $174\times10^8\text{m}^3$ ^[12]。

生产功能衰退:湿地蓄积来自水陆两相的营养物质,具有较高的肥力。湿地退化后,动植物的生存环境发生改变和破坏,物种多样性减少。洪湖鱼类从 40 年前的近 100 种已降到目前的 50 多种^[13]。

净化功能衰减:湿地退化导致一些高等水生植物生物量减少,其拦截净化陆源污染物的能力下降,湿地水质变差^[14-15]。

2.2 监测指标体系

在湿地调查指标中,选取可调控、具有可操作性的监测指标,便于相关管理部门实施可靠有效的措施来防止或抑制湿地退化(表 6)。湿地退化监测指标分级见表 7。

3 结 论

(1)从湿地退化的原因中提取出了湿地退化的

表 7 湿地退化地质环境监测指标分级

Table 7 Geo-environmental indicator classification of wetland degradation

指 标	很健康	健 康	较健康	一般退化	严重退化
供水变化率	供水、补水能力提高	筑堤后补水能力增强	附加人工设施后供水补水能力增加	补水、供水能力弱，且不断减小	不能供水、补水
农药(化肥)利用率	>50%	40%~50%	30%~40%	20%~30%	<20%
水质级别	I	II	III	IV	V
湿地面积退化率	<5%	5%~15%	15%~25%	25%~35%	>35%
水位变化率	地表水、地下水位无变化，水量均衡	地表、地下水位基本不变，对湿地系统基本无影响	地表、地下水水位变化幅度小，对湿地系统影响小	地表、地下水水位变化幅度较大，水量失衡	地表水、地下水位变化幅度大，水量严重失衡
水源保证率	>70%	60%~70%	50%~60%	40%~50%	<40%

影响指标,从湿地退化的表现形式、自然环境变化和社会经济发展中提取出了湿地退化的状态指标,从湿地退化导致的危害中提取出了湿地退化的后果指标,构建出湿地退化调查指标的一级指标体系。每类指标又分为类别指标和次级指标 2 个层次,列举了可供长期监测的参数,有利于观测湿地的发展趋势。

(2)在湿地调查指标中,选取可调控、具有可操作性的指标作为监测指标,为管理部门管理与保护湿地提供有力的依据。

致谢:本文承蒙岑嘉法教授、赵运昌教授、李瑞敏研究员审阅和指导,在此表示诚挚的感谢。

参考文献

[1]卞建民,林年丰,汤洁.吉林西部向海湿地环境退化及驱动机制研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2004,34(3):441-444.

[2]李瑞敏,鞠建华.生态环境地质指标研究[M].北京:中国大地出版社,2009.

[3]白军红,欧阳华,徐惠风,等.青藏高原湿地研究进展[J].地理科学进展,2004,23(4):1-9.

[4]殷康前,倪晋仁.湿地研究综述[J].生态学报,1998,18(5):539-546.

[5]曾曙才,陈水莲,曹珍.中国湿地资源特征、研究现状与保护对

策[J].广东林业科技,2008,24(1):88-93.

[6]袁正科,旷建军.洞庭湖天然湿地退化及其成因分析[J].人民长江,2009,40(14):32-34.

[7]陈海鹰.中国南部沿海湿地现状及其保护和利用研究[J].资源环境与发展,2006,3:15-19.

[8]孟宪民.湿地与全球环境变化[J].地理科学,1999,19(5):385-391.

[9]孙广友,邓伟,邵庆春,等.长江河源冰缘环境沼泽的研究[J].地理科学,1990,10(1):86-96.

[10]陈刚起,张文芬.三江平原沼泽对河川径流的影响的初步探讨[J].地理科学,1982,8(2):254-262.

[11]刘兴土.三江平原沼泽辐射平衡与小气候基本特征[J].地理科学,1988,8(2):132-133.

[12]程胜高,吴登定,陈德兴.长江源生态环境问题与可持续发展对策[J].地球科学,1999,24(4):423-424.

[13]胡鸿兴,万晖.湖北鸟兽多样性及保护研究[M].武汉:武汉大学出版社,1995:124-131.

[14]Brinson M, Rhinehardt R. The role of reference wetlands in functional assessment and mitigation[J]. Ecol.Applic.,1996,6:69-76.

[15]Nelson S M, Andersen D C. An assessment of riparian environmental quality by using butterflies and disturbance susceptibility scores[J]. The Southwestern Naturalist, 1994, 39: 137-142.

① Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC. 2005.