

基于 CSR 模型的我国湿地退化地学监测 指标体系研究

刘德良¹, 孙自永¹, 周海玲², 杨 丽¹, 余绍文¹

(1. 中国地质大学环境学院, 武汉 430074; 2. 广西地质环境监测总站, 广西 桂林 541004)

摘要: 基于成因—状态—结果(CSR)模型, 构建了适合我国湿地退化监测和评价的地学指标体系, 即由成因指标、状态指标、结果指标组成, 选取水文与水文地质、污染物排放、湿地资源开发和地质灾害作为湿地退化成因指标, 选取湿地景观、生物、水文、水质和土壤作为湿地退化的状态指标, 选取气候调节、水源涵养、生产量和净化功能作为湿地退化结果指标, 每类指标又分为类别指标、次级指标和三级指标 3 个层次; 该指标体系的建立, 对科学评价湿地环境变化和完善湿地环境监测预警体系有着重要的意义。

关键词: 湿地退化; 地学监测指标体系; CSR 模型

中图分类号: X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-1556(2009)02-0005-05*

Research on Monitoring Geindicator System of Wetland Degeneration in China Based on CSR Model

LIU De-liang¹, SUN Zi-yong¹, ZHOU Hai-ling², YANG Li¹, YU Shao-wen¹

(1. China University of Geosciences, School of Environmental Studies, Wuhan 430074, China;

2. Geological Environment Monitoring Station of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guilin 541104, China)

Abstract: Monitoring indicator is the basis of the wetland studies. However, monitoring indicator does not attach importance to geological factors. Based on CSR Model, the geindicator system of wetland degeneration has been put forward. This system is made up of cause indicator, state indicator and result indicator. Each kind of indicator is divided into categories of secondary and tertiary levels. On the basis of the analysis of the cause, situation and harm of wetland degeneration in China, hydrological geology, pollutant discharge, exploitation and geologic hazard are chosen as cause indicators; landscape, biology, hydrology, water quality and soil are chosen as state indicators; climate regulation, water conservation, capacity and purification are chosen as result indicators. These ge indicators can scientifically reveal the natural evolution and reflect the level of wetland degradation. Thus, geindicator system of wetland degeneration helps to provide technical support for wetland assessment and wetland monitoring-warning system.

Key words: wetland degeneration; monitoring geindicator system; CSR model

0 引 言

湿地是由水生和陆地生态系统相互作用而形成的独特生态系统, 与森林、海洋并称地球的三大生态系统^[1]。湿地具有独特的生态功能, 也是一种宝贵的自然资源, 但目前由于自然因素和人类的不合理

活动, 正导致湿地面积不断减少、湿地结构发生重大变化, 并由此阻碍湿地功能的发挥^[2]。湿地的保护已成为世界各国共同面临的迫切问题。

湿地的监测是获取湿地数据的主要手段和进行相关研究的前提。湿地监测指标的选取则是湿地监测的基础。20 世纪 90 年代以来, 国际上形成了较

* 收稿日期: 2008-12-09 修回日期: 2009-02-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(40702042)、国土资源大调查项目(121201535502)资助。

作者简介: 刘德良(1983—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境地质和生态地质。E-mail: ldl494@sina.com

为系统的湿地生态系统监测指标体系^[3],但其指标主要集中在大气、地表水和生物等方面,对土壤、基岩、地下水等地学要素在维持湿地生态系统平衡中的作用重视不足。鉴于此,国际地科联环境规划地质科学委员会国际地学指标工作组于 1992 年提出了可用于环境监测的 27 项地学指标。所谓地学指标,是指在百年或更短尺度上描述地球表层地质作用和现象的变化幅度、频度、速率和发展趋势的一系列环境地质参数^[4]。在这 27 项地学指标中,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^[5-8]。然而,对于湿地监测而言,这 27 项地学指标存在以下不足:系统性较差,未按具体的生态地质环境问题对这些指标进行分类;虽然有多个指标与湿地相关,但没有构建湿地退化的地学指标体系;基本未进行分级,量化指标少;有些指标对我国的湿地类型和湿地退化问题不适用。因此,建立符合我国国情和特点的湿地退化地学指标体系非常必要。为此,笔者从地球系统科学的角度出发,基于“成因—状态—结果”模型,通过分析国内湿地退化的原因、现状及其主要危害,构建了适合我国湿地退化监测和评价的地学指标体系。

1 湿地退化的监测指标体系

根据应用目的的不同,通常将生态环境的监测指标体系分为两大类,即“成因—状态—结果(CSR)”框架模型和“压力—状态—响应(PSR)”框架模型。CSR 框架模型是从系统演化的观点出发,将生态环境的演化视为“外界输入—系统结构改变—系统功能改变”的过程,分别监测生态环境演化的成因(Cause),演化的过程、规律和演化过程中的状态变化(State),演化造成的后果(Result)。PSR 框架模型则始终以人类活动为核心,紧密围绕生态环境的演化与人类活动的关系构建,具有清晰的因果关系:人类活动对生态环境施加了一定的压力(Pressure),这种压力导致生态环境状态(State)的改变,而人类社会应当对生态环境状态的改变做出响应(Response),以恢复生态环境质量或防止生态环境退化^[9,10]。可以看出,CSR 模型实际上是一个正演模型,PSR 模型是一个反演模型^[4]。环境管理者可以通过正演过程对生态环境的演化形成科学的认识,并通过反演过程对生态环境进行科学的管理。

湿地退化的监测指标体系既可基于 CSR 框架模型构建,也可基于 PSR 框架模型构建(图 1)。基

于 CSR 框架模型构建的指标体系主要是用于查明湿地退化的原因、规律及其所造成的危害,对其退化机制形成科学的认识。湿地退化通常是自然因素和人类活动双重作用的结果,但在短期内,湿地生态系统的退化更多的是人类不合理活动的结果。另外,从管理者的角度来看,人类活动较自然因素更易通过合理的规划与管理而得以控制和约束^[4],因此基于 PSR 框架模型构建的指标体系主要用于查明在造成湿地退化的各类要素中,人类活动起到什么样的作用,而人类又应对湿地退化做出什么样的反应,从而指导湿地生态系统的合理规划和管理。

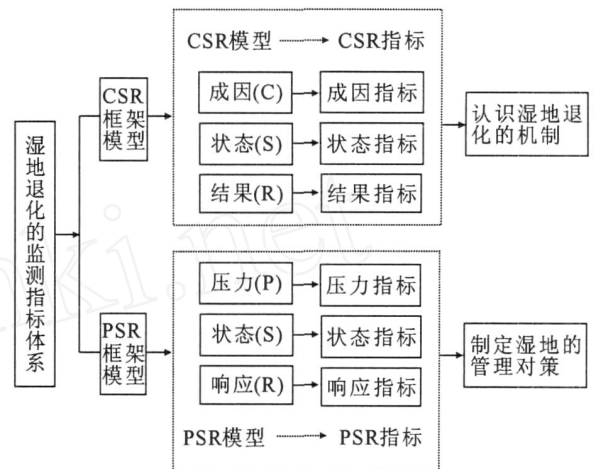


图 1 湿地退化的监测指标体系框架^[4]

Fig. 1 Framework of monitoring indicator system of wetland degradation

可以看出,基于 CSR 框架模型构建的指标体系是湿地研究的基础,只有查明湿地退化的成因、过程和危害,了解湿地退化的机制,才能开展相应的评价、管理和规划工作。因此,本次研究只构建了基于 CSR 框架模型的湿地退化地学监测指标体系。

2 基于 CSR 模型的湿地退化地学监测指标体系

湿地退化的本质是一种地球环境演化过程,因此湿地退化指标的提取应该从地学角度出发。湿地退化地学监测指标体系由成因指标、状态指标和结果指标组成(见图 1)。其构建过程为:通过分析我国湿地退化的原因、表现形式和导致的危害,分别提取与地学相关的成因指标、状态指标和结果指标;在此基础上,构建出湿地退化的地学指标类别体系;对类别指标进行细化,提出次级指标;最后提取可测量的三级指标,从而构建出完整的基于 CSR 模型的地学监测指标体系(见表 1)。

表 1 基于 CSR 模型的湿地退化地学指标体系

Table 1 Geoindicators of wetland degeneration based on CSR Model

指标类型	类别	次级指标	可测量的参数
成因指标	水文与水文地质	气候	温度、降雨量、蒸发量
		水利工程	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
		湿地土地利用	土地垦殖率、土地利用
	湿地资源开发利用	生物资源利用	捕捞强度、畜牧强度
		水土流失	泥沙淤积量
地质灾害	海岸侵蚀	海岸侵蚀强度	
	海水入侵	海水入侵速率	
	湿地面积	湿地面积退化率	
状态指标	湿地景观	斑块	斑块数量、破碎度
		动物	种类、外来物种数量、动物体内有毒物质含量
	湿地生物	植物	种类、生产量、优势种
		浮游藻类	浮游藻类种类、密度
	湿地水文	水量均衡	湿地地表水位、地下水位、补给水量、输出水量、容量
	湿地水质	水质级别	水温、pH 值、COD、BOD、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、透水性、通气性
化学性质		土壤中有机质、N、P、K、污染物含量、Eh 值	
结果指标	气候调节	湿度	植物冠层内湿度
	水源涵养	温度	植物冠层内温度
		水量	容量
	生产量	生物生产量	动物生产量、植物生产量
		水环境容量	绝对容量、年容量
净化功能	出入口水质级别	水温、pH 值、COD、BOD、N、P、重金属、有机污染物等浓度	

2.1 成因指标的选取

湿地退化是湿地生态系统在外界输入作用下发生的结构和功能改变^[11]。在湿地退化过程中,外界输入作用为湿地退化提供了动力,是湿地退化的诱因,成因指标就是刻画这类外界输入作用的参量,它可对外界输入的类型、方式、强度和频率等特征进行描述,将其与状态指标相结合,还可建立外界干扰与湿地退化之间的定量关系,为湿地的保护提供依据。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,因此成因指标的选取需以流域生态学的思想为指导,以流域或集水区为单元进行^[12]。成因指标的选取过程为:分析和总结造成各类湿地退化的原因和影响要素,从中选取最具代表性的作为成因指标。

通过对已有湿地调查资料的分析,发现造成我国湿地退化的原因主要有水量减少、污染物排放、湿地资源的开发利用和地质灾害(见表 2)。

(1) 水量减少。在部分地区,处于流域汇区的湿地获得的补给水量持续减少,湿地向陆地化方向发展。此类湿地退化类型称之为水量型退化。湿地水量减少的原因可分为自然因素和人为活动两类:前者主要指气候变化带来的温度、降雨量和蒸发量的变化,乃至地表径流量和地下水位的改变,我国西部干旱、半干旱地区湿地对这种变化极其敏感^[13];后者是指在流域内过度开采地下水、上游拦蓄地表水或从湿地直接取水等人类活动,它们是目前导致湿地水分补给量减少的主要原因^[14]。

表 2 我国不同区域湿地退化的主要原因

Table 2 Major causes of wetland degeneration in different regions of China

湿地	水量减少	污染物排放	湿地资源的开发利用	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				
云贵高原及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				

(2) 污染物排放。污染物排放是造成湿地水质恶化的主要原因。通常情况下,湿地多分布在流域内地势较低处,是地表水或地下水的汇区,在接受流域内产出水流的同时,也容纳着随水流而来的大量污染物,成为流域内污染物的最终汇集区或中转站。在水量得到保证的情况下,湿地通过物理、化学和生物作用,能净化一定量的污染物;但若污染物排放量过高,超过湿地的自净能力时,则会使湿地生态系统的各项机能受到损害,导致湿地生态系统退化。这种湿地退化类型称之为水质型退化。

(3) 湿地资源的开发利用。即因开发利用湿地资源而对湿地生态系统形成直接的干扰,导致湿地结构改变和功能削弱。这种湿地退化类型称之为湿地资源直接开发型。在各类开发活动中,以土地资源和生物资源的开发利用对湿地造成的干扰最大,

前者主要指通过排水疏干、联圩造田,将湿地改造成农田和建设用地等,可导致湿地面积急剧萎缩;后者包括经济鱼类的过度捕捞、野生动物的猎捕、野生植物的乱采乱伐、过度放牧等,可导致湿地生物量和生物多样性的减少。

(4) 地质灾害。导致湿地退化的常见地质灾害有水土流失、海岸侵蚀和海水入侵。水土流失可使大量泥砂和表层土壤养分进入水库、湖泊,带来湖泊湿地的陆地化和富营养化问题;全球变暖以及人类活动的影响使海岸侵蚀的范围不断扩大,程度日益加剧,也会导致滨海湿地退缩;海水入侵可导致地下水淡水咸化,咸化水沿土壤毛细管上升进入表层,使土壤发生盐渍化,进而导致沿海淡水湿地退化。

通过对我国湿地退化原因的总结和分析,从水文与水文地质、污染物排放、湿地资源的开发利用和地质灾害四个方面选取湿地退化地学监测指标体系的成因指标,其次级指标分别为:水文与水文地质——气温、降雨量、蒸发量、水资源开采量、供水率;污染物排放——污水浓度及排放量、农药(化肥)利用率;湿地资源开发利用——土地垦殖率、土地利用、捕捞强度、畜牧强度;地质灾害——泥砂淤积量、海岸侵蚀强度、海水入侵速率。

2.2 状态指标的选取

湿地的退化是湿地生态系统的逆向演替过程,这种演替实质上是系统结构的改变,而状态指标就是刻画和描述系统结构的参数^[11]。与成因指标和结果指标不同,状态指标针对的是湿地自身,该类指标只能在湿地范围内选取,可对湿地的退化过程、退化规律和退化趋势进行直接描述。状态指标的选取过程为:分析和总结各类湿地退化的共同表现形式,将其概化为具体的参量,从中选取变化最为显著、最能有效指示湿地退化过程的参量作为状态指标。

综合我国有关湿地退化的研究,发现我国湿地退化主要表现为:湿地景观的变化,主要是湿地面积的减小、景观的破碎化和各景观类型间的相互转化^[2];湿地生物的变化,主要是生物量的减少和生物多样性的降低,特别是栖息地的破坏导致许多珍稀生物濒危或灭绝^[15,16];湿地水文条件的变化,主要是湿地水位下降、水量和容量减少,特别是滨河湿地因河道断流而退化,湖泊湿地因上游来水量减少而萎缩^[17,18];湿地水质的变化,主要是内陆湖泊湿地的富营养化、海岸湿地的污染和干旱半干旱区部分湿地的水质咸化^[19,20];湿地土壤的变化,最为突出的是湿地土壤的污染^[21]。

通过对我国湿地退化表现形式的总结和分析,从湿地景观、生物、水文、水质和土壤五个方面选取湿地退化地学监测指标体系的状态指标,其次级指标分别为:湿地景观——湿地面积、斑块数量和破碎度;湿地生物——动物多样性指数、植物多样性指数、动物的生物量、植物的生产量、浮游藻类种类和密度、外来物种数量;湿地水文——湿地地表水位、地下水位、补给水量、输出水量、容量;湿地水质——水温、pH值、COD、BOD、TN、TP、重金属、有机污染物的浓度;湿地土壤——底泥厚度,土壤类型,孔隙度,通气性,Eh值,土壤有机质、N、P、K、重金属污染物和有机污染物的含量。

2.3 结果指标的选取

在湿地退化过程中,湿地的功能也随之发生改变,并对其环境产生反馈作用^[11],结果指标刻画的就是湿地退化所产生的环境效应。在对湿地进行监测时,更为关注的是与人类生产、生活密切相关的湿地服务功能的变化,结果指标的选取也侧重于湿地服务功能方面,同样也需以流域生态学的思想为指导,以流域或集水区为单元进行。结果指标的选取过程为:分析和总结湿地退化所造成的各种危害,从中选取最具代表性的作为结果指标。

通过对已有研究的分析,发现我国湿地退化的主要危害有:区域小气候改变,即由于湿地退化,其调节小气候的功能丧失,导致风蚀加剧,土壤肥力下降,局部地区出现沙化和盐碱化现象^[22];水源涵养功能丧失,即由于湿地萎缩或向陆地化方向发展,导致其容积减小,涵养水源和调蓄洪水的功能减弱或丧失,湿地的供水能力降低,周边地区的洪涝灾害加剧^[23];生物栖息地破坏,即由于湿地面积减小、景观破碎化、水质恶化等导致湿地生物的栖息地破坏、食物链中断,造成生态平衡失调,使湿地的生态功能衰退^[24,25];净化功能降低,即因湿地退化,特别是高等水生植物生物量的减少,导致其原有的拦截净化陆源污染物的能力下降,湿地自净功能削弱^[26,27]。

通过对湿地服务功能和湿地退化所产生的危害的总结和分析,从气候调节、水源涵养、生产量和净化功能四个方面选取湿地退化地学监测指标体系的结果指标,其次级指标分别为:气候调节——湿地内部及周边的大气湿度和大气温度;水源涵养——湿地容量;生产量——动物生产量、植物生产量;净化功能——湿地环境容量、湿地出入口的水质级别。

3 结 论

(1) 提取能科学、合理地反映湿地退化程度的地学指标,揭示湿地的自然演化规律,不仅为湿地环境地学指标体系的确立提供了理论基础,而且对湿地环境变化研究及湿地管理具有重要意义,已成为湿地研究的热点。

(2) 湿地退化的监测指标体系既可基于 CSR 框架模型构建,也可基于 PSR 框架模型构建。而基于 CSR 框架模型构建的指标体系是湿地研究的基础,主要用于查明湿地退化的原因、规律及其所造成的危害,对其退化机制形成科学的认识,从而指导相关的湿地评价、管理和规划工作。

(3) 从我国主要湿地退化的“成因—状态—结果”实际调查资料分析入手,构建了湿地退化的地学监测指标体系,该体系由成因指标、状态指标和结果指标组成,每类指标又分为类别指标、次级指标和三级指标 3 个层次:成因指标通过分析和总结造成各类湿地退化的原因和影响要素确定,包括:水文与水文地质、污染物排放、湿地资源开发利用和地质灾害 4 个类别指标和 8 个次级指标;状态指标通过分析和总结各类湿地退化的共同表现形式确定,包括景观、生物、水文、水质和土壤 5 个类别指标和 9 个次级指标;结果指标通过分析和总结湿地退化所造成的各种危害确定,包括气候调节、水源涵养、生产量和净化功能 4 个类别指标和 6 个次级指标。

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] 潘英姿,高吉喜.中东部地区湿地现状评价与影响分析[J].环境科学研究,2005,18(6):99-102.
- [3] 吕宪国,刘红玉.湿地生态系统保护与管理(第 1 版)[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [4] 李瑞敏.生态环境变化地质指标体系研究[R].北京:中国地质环境监测院,2008.
- [5] 袁军,吕宪国.湿地功能评价研究进展[J].湿地科学,2004,2(2):153-160.
- [6] Spencer,C.,A. Roberson,A. Curtis. Development and testing of a rapid appraisal wetland condition index in southeastern Australia[J].*Journal of Environmental Management*,1998,54(2):143-159.
- [7] Berger,A. R.,W. J. Iams. Geoinicators assessing rapid environmental change in earth systems[J].*Rotterdam Balkema*,1996,26:153-156.
- [8] Morton,R. A. Geoinicators: Assessing rapid environmental changes in earth syetems[J].*Geoindictors of Coastal Wetlands and Shorelines*,1996,12:196-216.
- [9] Rainer,W. Development of environmental indicator systems:experiences from Germany[J].*Environmental Management*,2000,25(6):613-623.
- [10] 麦少芝,徐颂军,潘颖君. PSR 模型在湿地生态系统健康评价中的应用[J].热带地理,2005,(4):371-321.
- [11] 毕思文.地球系统科学(第 2 版)[M].北京:科学出版社,2003.
- [12] 宋长青,杨桂山,冷疏影,等.湖泊及流域科学研究进展与展望[J].湖泊科学,2002,14(4):289-300.
- [13] 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.
- [14] 殷康前,倪晋仁.湿地研究综述[J].生态学报,1998,18(5):539-546.
- [15] 邱东茹,吴振斌.富营养浅水湖泊的退化与生态恢复[J].长江流域资源与环境,1996,5(4):355-360.
- [16] 赵魁义.中国湿地生物多样性研究与持续利用[A].陈宜瑜.中国湿地研究[C].长春:吉林科学技术出版社,1995.48-54.
- [17] 安娜,高乃云,刘长娥.中国湿地的退化原因、评价及保护[J].生态学杂志,2008,27(5):821-828.
- [18] 李静,孙虎,邢东兴.西北干旱半干旱区湿地特征与保护[J].中国沙漠,2003,23(6):670-674.
- [19] 黄金国.洞庭湖区湿地退化现状及保护对策[J].水土保持研究,2005,12(4):261-263.
- [20] 易卫华,尚清芳.西北干旱半干旱区湿地景观生态研究进展[J].河西学院学报,2007,23(2):70-73.
- [21] 吕宪国,刘红玉.湿地生态系统保护与管理(第 1 版)[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [22] 孟宪民.湿地与全球环境变化[J].地理科学,1999,19(5):385-391.
- [23] 田锋,秦丽柏.太湖湿地资源及湿地生态问题与对策[J].人民长江,2005,36(11):63-64.
- [24] 何执兼,关履基,柯栋,等.广东省海岸带湿地遥感调查与开[J].中山大学学报(自然科学版),2001,40(5):122-128.
- [25] 任宪友,杜耘,王学雷.南洞庭湖湿地生态退化研究[J].华中师范大学学报(自然科学版),2006,40(1):128-131.
- [26] Brinson,M. M.,R. Rhinehardt. The role of reference wetlands in functional assessment and mitigation [J].*Ecol. Applic.*,1996,(6):69-76.
- [27] Nelson,S. M.,D. C. Andersen. An assessment of riparian environmental quality by using butterflies and disturbance susceptibility scores [J].*The Southwestern Naturalist*,1994,39:137-142.