

# 湿地生态环境质量评价的内涵、方法和内容

曹杨宇, 刘洁, 陈明叶, 刘洋, 张斌, 高宝嘉, 刘军侠

(河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000)

**摘要:** 为了进一步促进湿地的保护、评价和管理, 在对生态环境质量评价内涵和方法进行归纳的基础上, 就湿地生态环境质量评价指标体系和湿地评价类型进行了综述, 最后针对现阶段研究中存在问题, 提出加强基础理论研究, 特别是加强湿地结构、过程与功能结合的理论研究, 并逐渐规范新型评价手段等建议。

**关键词:** 湿地; 生态环境质量; 评价方法; 指标体系

中图分类号: X 826

文献标志码: A

## On the eco-environmental quality evaluation of wetland in connotation, method and content

CAO Yangyu, LIU Jie, CHEN Mingye, LIU Yang,  
ZHANG Bin, GAO Baojia, LIU Junxia

(Forestry College, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

**Abstract:** In order to further strengthen the protection, evaluation and management of wetland on the basis of the connotation of eco-environmental quality assessment and method, wetland eco-environment quality evaluation index system and wetland types were summarized. Finally, the present stage existing problems in the research were discussed, and simultaneously, basic theory researches were proposed to be strengthened, especially in combination of wetland structure, process and function, gradually to standardize the new evaluation methods and so on.

**Key words:** wetland; ecological environmental quality; assessment methods; index system

20世纪60年代以来,随着人口数量与人类活动范围的空前发展,人类对资源的不合理利用、破坏和污染也日益严重,造成了一系列不良后果,也使人类自身生存受到了威胁。保护生态环境是可持续发展的基本要求之一,而湿地生态系统是地球三大生态系统之一,有着“自然之肾”的美名,因此保护湿地生态环境也就迫在眉睫<sup>[1]</sup>。湿地生态环境质量评价是湿地科学研究的新领域,有不可替代的功能,包括衡量湿地生态环境总体或湿地部分生态环境要素组合体是否适合湿地野生动植物生存;识

别湿地生态环境存在的问题,获取湿地环境变化规律和发展趋势;为湿地保护、评价和管理提供可靠的依据;指导湿地监测等<sup>[2]</sup>。目前,国内外关于湿地评价研究工作已取得了诸多进展,人们正试图从不同角度对湿地的结构、功能、过程、动态等各个方面进行更深入的了解和认识。但总体看来,涉及湿地功能性、生态特征和社会效益的内容较多,对湿地环境质量监测与评价的研究较少,且尚未建立起一套适合我国的湿地环境质量评价体系<sup>[3]</sup>。为此,拟就湿地生态环境质量评价的内涵、方法和内容进行综述。

收稿日期:2015-01-20;修改稿收期:2015-04-23

作者简介:曹杨宇(1988-),女,河北保定人,在读硕士研究生,研究方向:野生动植物资源保护与管理。

通讯作者:高宝嘉(1958-),男,河北深州人,博士生导师,教授,研究方向:生态学、昆虫生态学等。

## 1 生态环境质量评价的内涵

生态环境是指除人口种群以外的生态系统中不同层次生物所组成的生命系统<sup>[4]</sup>,主要或完全由自然因素形成,对人类生存环境产生长远的影响<sup>[5-7]</sup>。生态环境和自然环境含义易混淆,有时可以通用,但生态环境与自然环境仍有所不同。生态环境是具有一定生态关系构成的系统整体,而自然环境的外延比较广,包含各种天然因素。如,非生物因素组成的整体就不属于生态环境而是自然环境。从这个角度来说,自然环境包括生态环境<sup>[8-9]</sup>。国内外对环境质量的研究较多,有明确的内涵、评价指标和方法<sup>[10]</sup>。一般认为,环境质量是指在特定历史时期和特定的条件下环境系统状态的整体<sup>[11]</sup>。目前,对生态环境质量研究尚少,未形成统一概念和原理。一些学者从不同角度和层面诠释了生态环境质量的内涵,主要包括:整个生态系统,即自然资源及整个环境的各种生态因子;不同生态系统的动态变化及外部特征,即系统状态;不同生态系统的变化规律及其对人类生存和社会经济持续发展的影响程度<sup>[12]</sup>。

生态环境质量评价是指构建合理的指标体系和标准,选择适当的方法对某区域的生态环境质量优劣进行评价<sup>[13]</sup>。生态环境质量评价是系统性的综合研究,与自然及人文等学科领域交叉,其中生态学、环境科学及资源科学的理论与方法对生态环境质量评价具有重要的指导作用<sup>[8]</sup>。湿地是陆地生态系统与水生生态系统相互作用形成的独特生态系统,是自然界生物多样性生态景观和人类重要的生存环境之一,也是目前世界上生态学与环境科学研究的热点问题之一<sup>[14]</sup>。随着湿地环境自身演化、发展规律与人类主观需求之间存在的差距越来越大,人类的过度开发利用引发一系列环境问题,湿地问题已引起广泛关注。从20世纪60年代开始,各国学者即利用不同方法评价各类生态系统和生态环境。

## 2 湿地生态环境质量评价的方法

### 2.1 生态环境质量评价方法

常用的生态环境质量评价方法主要有层次分析法、指数评价法、模糊评价法、人工神经网络评价法、质量评分分级法、主成分分析法等。

2.1.1 层次分析法 层次分析法创造性地将定量分析与定性分析结合,在环境质量评价领域得到广泛应用<sup>[15]</sup>。我国学者已将层次分析法运用于城市

生态环境质量评价研究中,并论述了其在区域生态环境质量评价中的可行性及存在的问题<sup>[16]</sup>。实践证明,使用层次分析法得到的结果更加接近客观要求,并可统一处理定性与定量的问题,进而广泛应用于生态环境质量评价中。

2.1.2 指数评价法 指数能反映出事物动态变化的特定相对数,应用到环境质量评价中,其实质是一种加权型多因子环境质量评价。美国的“环境质量指数”(NWF)和加拿大的“总环境质量指数”(EQI)等都是指数法在环境评价中的应用<sup>[8]</sup>。生态环境质量评价具有综合性、整体性和层次性,而指数评价法可以对多因素进行分析。一般把评价指标分成2个部分或几个部分,固定其中1个或多个指标,观察其中某个指标的变动程度,也可以综合观察多个指标变动对某一个现象或者结果影响的程度和方向,进而评价其优劣。马荣华等结合3S技术并在前人成果基础上,建立了省域生态环境动态监测系统,将指数评价法应用于海南的生态环境现状评价中,验证了指数评价法对提高国家环境变化的监控能力,不仅有利于促进经济社会协调发展,更有利于生态环境的保护<sup>[17]</sup>。

### 2.2 湿地生态环境质量评价方法

汪朝辉、王克林等人对湿地生态环境健康做了简要概述,并针对生态环境及湿地提出8个评价标准<sup>[18]</sup>。湿地评价一般包括定性和定量2个方面的研究:定性评价通过概括描述湿地资源、特征、功能及质量,为湿地管理、资源开发利用及保护提供科学依据<sup>[19]</sup>;而定量评价则通过运用数学公式和建立评价指标体系,与3S技术等网络信息技术相结合,对湿地功能、效益及健康等进行定量分析<sup>[20-21]</sup>。

可以看出,国内湿地资源评价研究经历了由特征描述的定性评价到构建模型的定量评价,从单一属性评价到综合指标评价。现阶段,湿地资源评价研究方兴未艾,评价方法和评价体系还有待于进一步完善。

## 3 湿地生态环境质量评价指标体系

目前,我国没有采用统一的湿地评价指标,最常用的指标有多样性、稀有性、代表性、适宜性和自然性等<sup>[22]</sup>,将各指标加权赋值,最后计算并分出等级。目前,我国学者对建立湿地评价指标体系的研究已取得诸多进展<sup>[13]</sup>,如对白洋淀湿地建立湿地水环境安全评价,对博斯腾湖流域湿地及城市公园湿地进行生态环境综合评价,对扎龙湿地建立湿地水体富营养化评价指标体系<sup>[24-26]</sup>。20世纪以来,一些

国家和地区对多种类型的湿地选取了适合的评价指标,并建立了评价指标体系。如,日本建立了JHGM湿地功能评价指标体系,选取了初级生产、有机物分解等作为评价指标;欧洲的PROTOWET项目选取了水文、土质和动植物调查等评价指标<sup>[27]</sup>。

湿地生态环境质量评价指标体系不仅要兼顾科学性、代表性、综合性及易获得性的原则,还要将生态、社会和经济整合,概括为湿地结构指标、支持系统指标、综合指数和环境系统指标等4个部分。

### 3.1 湿地结构指标

湿地生态系统结构由生物组分结构与非生物组分构成,其评价指标包括:野生鸟类、鱼类及底栖动物的种类和数量。包括生物多样性指数,即用数理统计的方法求得表示生物群落的种类和个数的值,用以评价环境质量<sup>[28]</sup>;植被类型、面积与分布等;非生物的生境类型多样性等指标。物种数量常用来表示湿地生态系统的健康与受威胁程度,多用物种丰富度或物种多样性指数来表示。物种丰富度可以用样方内的物种数目表示,或者用样方内物种数目与样方大小的数学关系表示。

3.2 支持系统指标 湿地支持系统维持着湿地生态系统的稳定与平衡,其研究内容主要有:生物要素,包括表示是否适宜水禽栖息及生物群落自然性;土壤要素包括温度、含水量、pH值、重金属等;水文要素包括水位、地下水流量、地表水深、盐度、水温等;气象要素包含温度、地表温度、相对湿度、降水量、蒸发量等指标。

湿地是迁徙候鸟类的重要栖息地。鸟类是湿地生态系统的指示类群,且处在湿地食物链的最顶端,因对湿地自然环境变化高度敏感,常被作为研究湿地物种多样性的调查对象。

水文制约着湿地物理化学及生物特征,进而影响着湿地的结构与功能,更是野生动物赖以生存的生命之源,是研究湿地的核心内容。湿地生态系统的水分通过降水、地表径流和地下水上升3种途径入流,通过蒸发、地表径流及下渗等方式流出。

### 3.3 综合指数

综合指数包括水体功能水平指数,即湿地受污染水域面积与原始水体面积之比<sup>[29]</sup>,反映出湿地水体污染状况;初级生产力指数,即湿地受干扰前初级生产力与干扰后初级生产力之比,用以研究湿地植物丰度与变化规律;水质指标包括pH值、溶解氧、COD、全氮、全磷等;可以反映水文调节的指标有储水量、径流量、蒸发量;湿地对环境有滤过作

用,即物质在湿地生态过程中的转化及重新分配的过程,水质、沉淀物及污染物可以反映这一过程<sup>[30]</sup>。水质的化学变化可以反映植物种及植被类型的动态,进而控制其不合理的要素<sup>[31]</sup>。

3.4 环境系统指标 环境系统指标包括外来物种的种类、数量、分布和危害状况,以及人为活动。外来物种与原有物种竞争并大量繁殖,与本地物种生态位重叠,导致本地物种多样性降低,破坏了原有群落的平衡。评价指标多为外来入侵种种类、数量、面积、面积比例,病虫害为害植株数占总株数比例、为害面积及所占比例。人类活动对湿地内生物、土壤、景观等自然资源造成一定的危害,已成为干扰生态环境的主要因素。

## 4 湿地评价的类型

目前,我国湿地评价主要包括湿地生态系统功能评价、湿地生态效益评价、湿地生态安全评价和湿地环境影响评价<sup>[32]</sup>。

### 4.1 湿地生态系统功能评价

湿地生态系统有多种功能,包含水文功能、生物地球化学功能和生态功能等,主要有湿地评价技术、生境评估规程、水文地貌评价法等评价方法,以及湿地生态质量评价和湿地生态系统健康评价等内容<sup>[33]</sup>。1980年,为了研究某项目对鱼和野生动物资源的影响,美国鱼和野生动物局制定了《生境评估规程》<sup>[25]</sup>,并运用搜集资料、野外观察、统计分析和模型模拟等手段,建立表示单一物种生态环境质量的“生境适宜度指数(HSI)”。随后Schroeder运用该方法对苔莺(*Dendroica petechia*)的繁殖生境进行了研究<sup>[26]</sup>;Schamberger等利用《生境评估规程》对柏木(*Cupressus L.*)沼泽在不同开发方案下的功能变化趋势进行了研究。

### 4.2 湿地生态效益评价

湿地生态效益即湿地生态系统价值的统称。在特定的社会环境里,湿地的功能和属性价值的大小取决于湿地的规模、作用性质和湿地所处的人类社会经济环境,并最终将以当地市场价值表达。湿地有多种效益,其价值主要有直接使用价值、间接使用价值等。湿地效益价值的评价方法主要有直接市场价格法和替代市场价格法等。此外,我国湿地正面临着严峻的形势,应着手推动湿地保护中利益关系的制度建设。湿地生态效益补偿制度的建立,将大大有利于湿地保护与发展的和谐。

### 4.3 湿地生态安全评价

湿地是水陆相互作用形成的独特的生态系统,其生态安全的情况对陆地和水域生态系统的安全有着举足轻重的影响。目前,国内外学者针对建立湿地生态安全评价指标做了许多研究<sup>[34]</sup>。湿地生态安全评价方法也明显进步,已由简单的定性描述发展为定量的数学模型。生态模型是近期研究的新成果,并逐渐成为湿地生态安全评价的重要研究方法之一。湿地生态安全评价研究正逐渐与3S技术相结合,将空间数据融入到湿地生态安全评价体系中<sup>[35]</sup>。

### 4.4 湿地环境影响评价

湿地环境影响评价是针对湿地工程项目可能对湿地生态环境造成的影响进行评价,进而找到缓解不良影响的合理对策<sup>[36-38]</sup>。湿地对环境变化敏感,很容易受到人为活动干扰<sup>[39]</sup>。国内学者芦晓峰等采用模糊综合评判的方法对盘锦双台河口湿地进行环境影响评价<sup>[40]</sup>。美国的HGM项目和日本的JHGM项目也都相继建立了适合本国国情的湿地功能评价指标体系<sup>[41]</sup>。

## 5 3S技术在生态环境质量评价中的

### 应用

“3S”作为新兴科技手段,正逐步被应用于环境质量评价与监测。通过该项技术的运用,可以获取更加综合、丰富的实时监测数据,实现生态环境信息分析的空间与属性信息一体化分析和综合处理的功能,环境质量评价与监测的精度被大幅提高<sup>[42]</sup>。

#### 5.1 遥感技术

遥感(Remote System,缩写RS)是免于直接与研究目标相接触,遥远感知的综合性探测技术。利用遥感技术获取目标的特征信息等,结合GIS强大的分析数据功能,令生态环境动态信息获取更加精准及时;使用遥感技术有迅速获取大范围资料的优势,可以大大提高监测效率。例如,利用遥感技术可以全面获取地表的即时信息,估计物种多样性,从而预测物种分布,或利用遥感数据对单个种或生境制图;使用统计学方法,将利用遥感技术获取的光谱辐射值数据与野外调查得到的种的分布格局相对应起来,得到一定区域的物种多样性,进而对物种多样性指标制图<sup>[43]</sup>。

#### 5.2 全球定位系统技术

全球定位系统(Global Positioning System,缩写GPS)技术在环境质量评价领域的功能概括为:对目标地物地表或地表低空位置实时空间定位;实

时获取采集点的空间位置数据,数据准确且连续<sup>[44]</sup>;GPS技术与摄影测量技术相结合,有效监测生态环境质量评价区域污染源动态<sup>[45]</sup>。

#### 5.3 地理信息系统技术

地理信息系统(Geographic Information System,缩写GIS)在生态环境质量评价应用时的优势主要有:利用GIS的数据库功能,建立生态环境信息的空间数据库,有效地查询或提取评价区域生态环境评价的空间数据或属性数据,并依据评价目的输出需要的分析结果。同时,GIS具有强大的空间分析功能,可以对研究区域进行缓冲区分析和空间叠置分析等,继而可以将不同区域的生态环境质量进行对比<sup>[46]</sup>。

## 6 展望

加强基础理论研究。我国湿地面积广大,具有重要的生态意义。我国的湿地研究开始较早,但发展缓慢。未来应结合我国湿地现状,注重湿地生态环境理论研究,完善湿地生态环境质量评价领域的基础理论研究,侧重对湿地进行定量评估,构建具备参照意义的指标体系及数学模型,形成更加规范的评价方法,以期为国家生态建设决策提供科学依据。

加强湿地结构与功能的研究。在现有研究中,很少将湿地生态环境质量评价与湿地生态系统过程、结构以及功能研究结合。湿地结构是功能的基础,功能是湿地各个过程相互作用的结果,结构、功能和过程三者关系密切<sup>[32]</sup>。湿地生态环境系统功能的变化分析需要从分析结构和过程的变化入手,评价指标体系也需要包括表征结构特征与表征功能特征两个方面<sup>[38]</sup>,应开展不同区域湿地与其他生态系统组合关系及其功能的研究<sup>[47]</sup>。

改进评价手段。RS技术与GIS技术相结合为生态环境质量评价积累了大量基础数据,不仅展现出生态环境质量评价指标因子的空间分异规律,更提高了生态环境评价数据处理的效率。但目前新兴技术手段发挥受限。遥感技术虽然可以提供精准的海量数据,但是数据解译遇到阻碍<sup>[48]</sup>,数据量巨大,没有形成统一的标准。在实际研究中,仍依赖传统调查。不过,3S技术与适当的评价方法相结合,使数据获取更加准确和及时,扩大了评价区域的范围,更使生态环境质量评价提升了效率<sup>[49]</sup>。随着我国高分二号卫星的投入使用,将深化3S技术在环境质量评价中的应用,进而推动我国生态环境质量评价研究<sup>[50]</sup>。

## 参考文献

- [1] 田永中,岳天祥. 生态系统评价的若干问题探讨[J]. 中国人口·资源与环境, 2003, 13(2): 17-22.
- [2] 骆林川. 城市湿地公园建设研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009: 1-6.
- [3] 江春波,惠二青. 天然湿地生态系统评价技术研究进展[J]. 生态环境, 2007, 16(4): 1304-1309.
- [4] 金岚. 环境生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992: 259-260.
- [5] 徐莉. 基于 GIS 和 RS 的区域生态环境建模与制图[D]. 青岛: 山东科技大学, 2009: 2-8.
- [6] 胡宝荣. 基于遥感与 GIS 技术的汶川县地震前后生态环境质量评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2009: 1-3.
- [7] 赵跃龙,刘燕华. 脆弱生态环境与工业化的关系[J]. 经济地理, 1996, 16(2): 86-90.
- [8] 徐燕,周荣华. 初论我国生态环境质量评价研究进展[J]. 干旱区地理, 2003, 26(2): 166-171.
- [9] 海热提,王文兴. 生态环境评价、规划与管理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 61-65.
- [10] 李晓秀. 北京山区生态环境质量评价体系初探[J]. 自然资源, 1997(5): 31-35.
- [11] 朱银银. 榆林市水环境承载力研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2008: 2-8.
- [12] 巩文. 略论生态区划与规划[J]. 甘肃林业科技, 2002, 27(3): 28-32.
- [13] 左其亭,王中根,陈嘻,等. 西部干旱区生态环境质量定量评价理论方法[J]. 郑州工业大学学报, 2001, 22(2): 34-38.
- [14] 周昕薇. 基于 3S 技术的北京湿地动态监测与评价方法研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2006.
- [15] Saaty T L. A scaling method for priorities in hierarchical structures[J]. Journal of Mathematical Psychology, 1977, 15(3): 234-281.
- [16] 朱晓华,杨秀春. 层次分析法在区域生态环境质量评价中的应用研究[J]. 国土资源科技管理, 2001(5): 43-46.
- [17] 马荣华,黄杏元,胡孟春,等. 海南生态环境现状评价与变化分析[J]. 南京大学学报, 2001, 37(3): 269-274.
- [18] 汪朝辉,王克林,许联芳. 湿地生态系统健康评估指标体系研究[J]. 国土与自然资源研究, 2003(4): 63-64.
- [19] 刘桃菊,陈美球. 鄱阳湖区湿地生态功能衰退分析及其恢复对策探讨[J]. 生态学杂志, 2001, 20(3): 74-77.
- [20] 崔丽娟,张明祥. 湿地评价研究概述[J]. 世界林业研究, 2002, 15(6): 46-53.
- [21] 杨永兴. 国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 111-117.
- [22] 王治良,王国祥,常青. 江苏泗洪洪泽湖湿地自然保护区生态评价[J]. 南京师范大学学报: 自然科学版, 2006, 29(2): 115-119.
- [23] 张峥,朱琳,张建文,等. 我国湿地生态质量评价方法的研究[J]. 中国环境科学, 2000, 20(增刊): 55-58.
- [24] 刘婧. 中国湿地资源研究综述[J]. 资源与产业, 2007, 9(4): 21-23.
- [25] 李建国. 白洋淀湿地水环境安全评价研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2005.
- [26] Schroeder R L. Habitat Suitability Index Models; Yellow Warbler[R]. U. S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service FWS/OBS-82/10. 27, 1982.
- [27] 吕宪国. 湿地生态系统观测方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005: 14-22.
- [28] 李博. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 338-340.
- [29] 李永建. 拉鲁湿地生态环境质量评价的景观生态学方法应用研究[D]. 成都: 四川大学, 2002.
- [30] 余国营. 湿地研究的若干基本科学问题初论[J]. 地理科学进展, 2001, 20(2): 178-180.
- [31] 种云霄,胡洪营,钱易. 大型水生植物在水污染治理中的应用研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(2): 37-39.
- [32] 武海涛,吕宪国. 中国湿地评价研究进展与展望[J]. 世界林业研究, 2005, 18(4): 49-53.
- [33] 李日志. 鄱阳湖湿地生态系统的综合评价模型研究[J]. 江西农业学报, 2004, 16(2): 25-32.
- [34] 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, 29(2): 248-254.
- [35] 何池全,崔宝山,赵志春. 吉林省典型湿地生态评价[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 754-756.
- [36] 吕宪国,王起超,刘吉平. 湿地生态环境影响评价初步探讨[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 83-85.
- [37] 石莺. 腾冲北海湿地综合评价研究[D]. 昆明: 西南林业大学, 2008: 66-67.
- [38] 俞穆清,田卫,孙道玮,等. 湿地资源开发环境影响评价探析[J]. 东北师范大学学报: 自然科学版, 2000, 32(1): 84-89.
- [39] 吴妍,赵志强,龚文峰,等. 太阳岛湿地景观生态安全综合评价[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(1): 101-104.
- [40] 芦晓峰,王铁良,马秀梅,等. 盘锦双台河口湿地环境影响评价及恢复研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 133-138.
- [41] 闫长平,马延吉. 人类产业活动对湿地环境的影响研究进展[J]. 湿地科学, 2010, 8(1): 98-104.
- [42] 杜培军,高井祥. 基于空间信息技术的矿区生态环境监测分析系统研究[J]. 江苏环境科技, 2000, 13(2): 24-26.
- [43] 陈述彭,童庆禧等. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 65-67.
- [44] 赵晓红,王西光. 谈 GIS 的数据质量[J]. 测绘与空间地理信息, 2007, 30(6): 114-116.
- [45] 肖笃宁,布仁仓,李秀珍. 生态空间理论与景观异质性[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 453-461.
- [46] 李德仁,关泽群. 空间信息系统的集成与实现[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000.
- [47] 杨永兴. 国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 508-513.
- [48] 吕宪国,姜明. 湿地生态学研究进展与展望[A]. 李文华,赵景柱主编. 生态学研究回顾与展望[C]. 北京: 气象出版社, 2004: 319-335.
- [49] Keddy P A. Wetland Ecology-Principles and Conservation [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000: 4-107.
- [50] Daughton C G. Real-time estimation of small-area populations with human biomarkers in sewage [J]. Science of the Total Environment, 2012, 414: 6-21.

(编辑 潘秀华)