

基于生态系统管理的湿地概念生态模型研究

王建华^{1, 2, 3}, 田景汉², 李小雁^{1, 3*}

1. 北京师范大学/地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 河北沧州师范专科学校, 河北 沧州 061001;

3. 北京师范大学资源学院, 北京 100875

摘要: 湿地是地球上的一种重要生态系统, 基于生态系统管理理念, 进行湿地保护与管理, 既是湿地科学发展的必然结果, 也是当前湿地保护与管理的客观需求。湿地生态模型是以湿地生态系统作为研究对象的模型, 是对湿地生态系统组成、结构、过程和功能进行简化、类比或抽象, 是用来反映湿地生态系统各种过程和关系的定性或量化工具。湿地概念生态模型是各类湿地生态模型中最基本的类型, 是对湿地生态系统组成及其相互关系的一种简约的定性表达, 特别是指人类活动影响下湿地生态系统因子变化及其相互关系的概念性表达。湿地概念生态模型构建的主要目的是旨在识别人类活动对湿地生态系统的驱动与胁迫, 这些驱动与胁迫产生的一系列生态效应, 以及湿地生态系统对此所表现出来的特征。湿地生态系统是一个多层次、多因子组成的, 结构复杂、功能多样、具有多向反馈和调节机制的复杂大系统或巨系统。影响系统状态或驱动系统变化的因子众多, 既有来自系统内部的、也有来自系统外部的, 它们对系统造成的影响往往具有联动关系和因果效应。湿地概念生态模型就是在生态系统管理理论指导下, 将这些系统因子及其关系抽象并提取出来, 以“驱动—胁迫—效应—表征”为主线, 判断系统变化与演化背后存在的因果关系, 构建能够反映系统变化与演化特征和规律的结构关系网络模型。湿地概念生态模型研究的意义在于在科学与决策之间架起一座桥梁, 为实施湿地生态保护与管理提供指导, 同时为建立湿地数量化模型奠定基础。

关键词: 概念模型; 生态模型; 湿地; 生态系统管理

中图分类号: X3

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 02-0738-05

1 生态系统管理

由于全球生态环境的日益恶化, 20世纪90年代以来, 生态系统管理的研究渐成主流。生态系统管理(Ecosystem Management)是指按照生态系统的物理、化学和生物学过程, 将生命物质与无机环境以及人类活动联系起来, 营造一个理想的生态环境; 生态系统管理要求人类利用和对生态系统的影响要以系统的科学研究成果作指导, 在对生态系统组成、结构、功能和过程充分理解的基础上, 恢复和维持生态系统的完整性和持续性^[1-2]。生态系统管理要求科学家与管理者定义生态系统退化的阈值, 找到生态系统退化的根源, 并在其退化前采取措施^[3]; 生态系统管理不仅针对生态系统本身, 更重要的是将生态系统置于人类活动的大背景下, 研究生态系统在自然—经济—社会大系统中的地位、行为和变化, 以生态系统的驱动——效应为线索, 进行生态系统管理的情景预测与模拟, 帮助做出最优选择^[4]。基于生态系统的等级、层次和尺度性, 生态系统管理也具有等级、层次和尺度性。在生态系统管理宏系统之下划分许多小系统, 比如人类系统, 又分专家咨询子系统、政策法规子系统、管理机制子系统

和文化传媒子系统等; 自然系统包括构成自然生态系统的有机和无机子系统, 有机子系统又分生产子系统、消费子系统和分解子系统, 而无机子系统一般可分为内力驱动子系统和外力驱动子系统等, 之下还可以再分。各个子系统之间不是孤立的, 它们通过物质循环、能量传递和信息传输相互依存、相互作用、相互影响, 共同形成一个有机联系的整体。

2 湿地生态系统管理

湿地是一类重要的生态系统。人类对湿地的认识从物种到生境、从结构到功能、从简单到复杂, 湿地的保护与管理也由资源化管理到生态化管理, 从单一目标的分散管理到多目标的综合管理发展。基于生态系统管理的理念, 进行系统的湿地保护与管理, 既是湿地科学发展的必然结果, 也是当前湿地保护与管理的客观需求。湿地生态系统管理的主体是人类, 客体是湿地, 将主体与客体连接起来的是人类对于湿地生态系统的充分理解与认识。湿地生态系统管理效果的好坏, 关键在于人类。一方面人类需要把握湿地系统的性质、特征与时空演化规律; 另一方面人类需要对人类在多大程度上影响和

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目(2007BAC30B02); 河北省教育厅科学计划项目(Z2008102)

作者简介: 王建华(1968年生), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向为湿地生态与环境。E-mail: anntnn@163.com

*通讯作者

收稿日期: 2009-01-05

改造湿地系统做出准确的判断；同时人类还要提高环境意识与生态觉悟，加强对自身行为的约束与规范。湿地生态系统管理的实施是建立在不同层面上的，有国家层面的、区域层面的和地方层面的。湿地生态系统管理的总目标是湿地生态系统的完整性与资源利用的可持续性；其具体实施方式是运用生态系统方法^[5]，进行湿地生态系统的保护、恢复与重建。那么，那些湿地需要保护，那些需要恢复，而那些又需要重建呢？解决这一问题的关键是对湿地进行综合分析评价，识别湿地生态系统演化（进化或退化）的驱动与胁迫机制，这些驱动与胁迫产生的一系列生态效应，以及湿地生态系统对此所表现出来的特征；由此对现有湿地在这些驱动与胁迫下的未来演化趋势进行定性或定量化研究，而湿地概念生态模型的构建是其中最为基础的一环。

3 湿地概念生态模型

生态模型研究开始于20世纪60年代，在70年代之后获得快速发展。生态模型以现实生活中各类生态系统作为研究对象，是对现实生态系统的抽象化、简单化和公式化的表述，用它来揭示和预测生态系统中的各种现象^[6]。湿地生态模型是以湿地生态系统作为研究对象的模型，是对湿地生态系统组成、结构、过程和功能进行简化、类比或抽象，是用来反映湿地生态系统各种过程和关系的定性或定量化工具。从模型抽取的对象来看，湿地生态模型分为：物质循环模型、能量流动模型、湿地水文模型、空间场因果关系模型及区域综合评价模型等。如，殷康前等在湿地综合分类的基础上提出了综合建模法，对湿地水文模型作了详细的论述，并建立了深圳湾潮流湿地模型^[7]。徐姗楠等根据生态调查数据，利用 EwE 软件构建了杭州湾北岸大型围隔海域的生态通道（Ecopath）模型，用于分析生态系统的结构和功能，特别是能量流动^[8]。从模型反映的动力学过程来看，湿地生态模型又可以分为湿地物理模型、湿地化学模型和以统计学和数学为基础的生态过程模型。按模型本身的性质不同，可以将湿地生态模型分为概念生态模型、模拟生态模型和数学生态模型等。湿地概念生态模型是抽象模型中最基本的类型，是对湿地生态系统组成及其相互关系的一种简约的定性表达，在这里特别是指人类活动影响下湿地生态系统组成要素或称因子的变化及其相互关系的概念性表达。湿地概念生态模型构建的主要目的，旨在识别人类活动对湿地生态系统的驱动与胁迫，这些驱动与胁迫产生的一系列生态效应，以及湿地生态系统对此所表现出来的特征（图1）。

4 湿地概念生态模型的研究内容

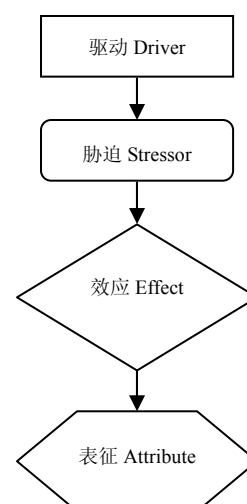


图1 概念生态模型示意（引自文献19）

Fig. 1 Simplified diagram of a conceptual ecological model

（Adopted from ref.19）

4.1 湿地生态系统及其形成与演化的驱动因子、胁迫因子、效应因子和表征因子的识别与分析，这是进行湿地概念生态模型构建的基础

主要包括：人类活动对于湿地生态系统及其组成要素的驱动，这些驱动对于湿地生态系统及其组成要素的胁迫，以及在人类活动长期或短期的驱动与胁迫下，湿地生态系统及其组成要素产生的效应与表征等。如，人类对水资源的管理行为，包括一系列的蓄水和排水措施等（驱动因子），引起了湿地地表径流量减少（胁迫因子），进而导致湿地水的矿化度提高和水生植被的减少（效应因子），二者综合的结果是水禽种类和数量的减少（表征因子）；再如，人类的近海过度捕捞（驱动因子），引起近海海鱼海虾的数量减少和个体变小（效应因子），造成近海海域生物群落结构的改变（效应因子），进而导致以海鱼海虾为食的鸟类物种多样性的降低（表征因子）。这只是简单的“驱动—胁迫—效应—表征”的因果关系分析，实际上湿地概念生态模型中的因果关系比这要复杂的多，比如，上述湿地地表径流的减少可能不仅仅是人类不合理水资源管理行为（驱动因子）的结果，可能还有气候变化（效应因子）方面的原因，而气候变化可能是人类农业生产和城市建设（驱动因子）造成的下垫面的改变（胁迫因子）以及大量消耗化石能源，减少地面植被（胁迫因子）的结果。同样，近海渔业资源减少和群落结构改变（效应因子），可能来自人类的过度捕捞（驱动因子），也可能是由于人类排放废弃物（驱动因子）而造成海水污染（胁迫因子）和气候变化（胁迫因子）的结果。因此，这项工作内容极为繁杂，但却是进行模型构建的基础。

4.2 在进行湿地生态系统“驱动—胁迫—效应—表征”因子识别及其因果关系分析的基础上,进行湿地概念生态模型的构建

湿地生态系统是一个由多种因子或要素组成的,结构复杂、功能多样、具有多向反馈和调节机制的复杂大系统或巨系统。影响系统状态或驱动系统变化的因子众多,既有来自系统内部的、也有来自系统外部的。它们对系统造成的影响往往具有联动关系和因果效应。不同系统或系统的不同状态,对于同一驱动因子产生的效应会有差异,或快速或慢速、或强烈或缓和。根据研究的层次和目标,湿地概念生态模型可以分为社会概念模型、景观水平模型、典型物种模型、区域生态综合模型等^[9];根据研究内容的不同,湿地概念生态模型可以分为湿地生态系统过程模型(因果关系或动态变化)、湿地生态系统结构模型(层级或梯度)和湿地生态系统功能模型(职能或作用,目标等)等。但不论是湿地生态系统过程模型、结构模型,还是功能模型,均可以建立在对某一个要素的理解和认识或对多个要素综合形成的生态系统整体水平之上。由于生态系统管理涉及自然—人类—社会复合生态系统中各个层次的多个目标及其之间的错综复杂的相互作用关系,正如生态系统管理理念所指出的:首先必须强调生态学的完整性与边界和时空尺度^[10];其次,是在一定的时空尺度限定下,进行湿地概念生态模型的构建。简单地讲,就是将所有系统因子及其关系抽象出来,在生态系统管理理论指导下进行概念性提取,以“驱动—胁迫—效应—表征”为主线,判断系统变化与演化背后存在的因果关系,构建能够反映系统变化与演化特征和规律的结构关系网络模型。而且,在模型构建过程中,不仅是系统内部各种因子及其因果关系网络的建立,还应注意系统之间的相似性与差异性以及尺度与等级的广泛存在。

4.3 在生态系统管理理论指导下,探讨湿地概念生态模型构建的理论与方法,建立相应的湿地评价、规划、预测与预警的综合评价与管理体制

湿地概念生态模型构建的理论与方法目前还处于探讨阶段。湿地概念生态模型既是湿地生态系统研究成果的提炼与总结,也是为湿地生态系统管理提供知识支持与技术服务的有力工具。生态系统管理理论与生态系统原则和方法为湿地概念生态模型的构建提供了理论指导,反过来,构建湿地概念生态模型也必须遵循生态系统管理的一般原则和方法,主要包括:系统背景分析,模型因子提取,驱动因子、胁迫因子、因子和表征因子的定义、分类及识别模式,因果关系判断及结构型网络关系的

确立,模型流程图示及表述,模型评价与检验以及案例研究等。湿地是一个多层次多等级的复杂系统,湿地生态模型研究需要在不同的研究范围与等级尺度上进行。中国湿地具有分布广、类型多、区域差异显著和生物多样性,各地的湿地研究成果也存在很大差异。探讨各种类型湿地概念生态模型构建的理论与方法,建立相应的湿地评价、规划、预测与预警的综合评价与管理体制,以减少人类在湿地开发利用方面的冲动与盲目,实现湿地资源的有效保护与可持续利用。但是,从具体到一般,从个别研究到具有普适意义的理论总结将是一项极具复杂与挑战性的工作。目前所能做的仅仅是一些具有示范意义的区域湿地概念生态模型研究及相应的模型构建方法与标准的建立以及一部分前瞻性理论假说,真正的具有一般意义与广泛指导作用的湿地概念生态模型理论的形成还需要更多的案例研究和实际应用的检验,在长期的理论研究与实践检验中得到不断丰富、发展与完善。

5 湿地概念生态模型研究的意义

湿地概念生态模型研究的意义在于在科学与决策之间架起一座桥梁,为实施湿地生态保护与管理提供指导,因而是湿地生态系统管理的有力工具。湿地位于水陆交错带,是一种具有双动力、多界面的,结构独特、过程复杂的生态功能区,一般也是人类活动密集区,来自围垦、城市扩张、交通运输以及矿产开发等多方面的胁迫,使全球湿地的丧失与退化非常严重,因此,湿地概念生态模型研究逐渐受到重视。在美国佛罗里达州南部,作为沿海湿地生态恢复计划的一个组成部分,11个区域模型和1个综合模型的构建,不仅为该地区湿地生态恢复计划提供了一个得力工具,而且形成了湿地概念生态模型构建的基本框架^[11-23]。在中国,这方面的工作亟待开展。

湿地生态模型研究是中国湿地研究的薄弱环节。尽管目前对湿地生态系统的某些过程和机理,如,湿地水文过程、湿地生物地球化学循环过程、湿地生态过程以及人类活动(农业开垦、城市扩张、矿山开采、污染排放等)对湿地及其生物多样性的影响及时空累积效应等都有所研究,甚至在某些方面进行的相当深入,但是对一块湿地或者一个湿地区域进行生态系统或景观整体水平上的、综合的系统性研究相对缺乏。正因如此,我们可以通过对比不同时期的地图和遥感影像,获知一块湿地或者一个湿地区域的历史演化信息,也可以通过先进的仪器设备和实验技术分析某种外部力量(自然干扰或人类活动)对这片湿地某一个或几个要素所产生的影响和过程,但却无法了解到底驱动湿地变化与演

化的因子有哪些,或者了解这些因子却不知道它们之间有怎样的关系,或者知道这些因子及其相互关系,却不能确定它们在驱动湿地变化与演化过程中的作用是什么,对目标湿地的累积效应如何,其结果又表现在哪些方面,等等;大量散落于各处的支离破碎的信息或成果需要综合起来,分析目标湿地“驱动—胁迫—效应—表征”之间错综复杂的关系并形成一个全局概念。因此,进行湿地概念生态模型研究,不仅是湿地科学研究的必然结果,也是目前中国湿地保护与恢复、监测与评估、规划与管理的客观需求。湿地概念生态模型必须是在对湿地生态系统基本原理的充分理解并在生态系统管理理论指导下构建并不断完善的,湿地概念生态模型也是进一步建立湿地数量化模型的基础。

参考文献:

- [1] MALTBY E, HOLDGATE M, ACREMAN M, et al. Ecosystem Management: Questions for Science and Society[M]. Virginia Water, Royal Holloway Institute for Environmental Research, 1999.
- [2] 刘永, 郭怀成, 黄凯. 湖泊—流域生态系统管理的内容与方法[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5352-5360.
LIU Yong, GUO Huaicheng, HUANG Kai. The theories and methods of lake-watershed ecosystem management[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5352-5360.
- [3] 任海, 邬建国, 彭少麟, 等. 生态系统管理的概念及其要素[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 455-458.
REN Hai, WU Jianguo, PENG Shaolin, et al. Concept of ecosystem and its essential elements[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(3): 455-458.
- [4] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Wetlands and water synthesis[R]. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.
- [5] 周杨明, 于秀波, 于贵瑞. 自然资源和生态系统管理的生态系统方法: 概念、原则与应用[J]. 地球科学进展, 2007, 22(2): 171-178.
ZHOU Yangming, YU Xiubo, YU Guirui. Ecosystem approach to natural resources and ecosystem management: concept, principle and application[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(2): 171-178.
- [6] 于贵瑞, 谢高地, 于振良, 等. 我国区域尺度生态系统管理中的几个重要生态学命题[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 885-891.
YU Guirui, XIE Gaodi, YU Zhenliang, et al. Important ecological topics on regional scale ecosystem management in China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(7): 885-891.
- [7] 殷康前, 倪晋仁. 湿地综合分类研究: II. 模型[J]. 自然资源学报, 1998, 13(4): 312-319.
- YIN Kangqian, NI Jinren. Comprehensive classification for wetlands: II. Modeling description[J]. Journal of Natural Resources, 1998, 13(4): 312-319.
- [8] 徐姗楠, 陈作志, 何培民. 杭州湾北岸大型围隔海域人工生态系统的能量流动和网络分析[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2065-2072.
XU Shannan, CHEN Zuozhi, HE Peimin. Energy flux and network analysis for an artificial ecosystem of a large enclosed sea area in North Hangzhou Bay[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2065-2072.
- [9] GENTILE J H, HARWELL M A, CROPPER W J, et al. Ecological conceptual models: a framework and case study on ecosystem management for South Florida sustainability[J]. The Science of the Total Environment, 2001, 274: 213-253.
- [10] 于贵瑞. 生态系统管理学的概念框架及其生态学基础[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 787-794.
YU Guirui. A conceptual framework and the ecological basis for ecosystem management[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(5): 787-794.
- [11] BARNES T. Caloosahatchee Estuary conceptual ecological model[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 884-897.
- [12] BROWDER J A, ALLEMAN R, MARKLEY S, et al. Biscayne Bay conceptual ecological model[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 854-869.
- [13] CRIGGER D K, GRAVES G A, FIKE D L. Lake Worth Lagoon conceptual ecological model[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 943-954.
- [14] DAVIS S M, CHILDERS D L, LORENZ J J, et al. A conceptual model of ecological interactions in the mangrove estuaries of the Florida Everglades[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 832-842.
- [15] DAVIS S M, GAISER E E, LOFTUS W F, et al. Southern Marl Prairies conceptual ecological model[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 821-831.
- [16] DUEVER M J. Big cypress regional ecosystem conceptual ecological model[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 843-853.
- [17] HAVENS K E, Gawlik D E. Lake Okeechobee conceptual ecological model[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 908-925.
- [18] OGDEN J C, DAVIS S M, BARNES T K, et al. Total system conceptual ecological model[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 955-979.
- [19] OGDEN J C, DAVIS S M, JACOBS K J, et al. The use of conceptual ecological models to guide ecosystem restoration in South Florida[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 795-809.
- [20] OGDEN J C. Everglades ridge and slough conceptual ecological model[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 810-831.
- [21] RUDNICK D T, ORTNER P B, BROWDER J A., et al. A conceptual ecological model of Florida Bay[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 870-883.
- [22] SIME P. St. Lucie Estuary and Indian River Lagoon conceptual ecological model[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 898-907.
- [23] VANARMAN J, GRAVES G A, FIKE D. Loxahatchee Watershed conceptual ecological model[J]. Wetlands, 2005, 25(4): 926-942.

Study of wetland conceptual ecological models based on ecosystem management

Wang Jianhua^{1,2,3}, Tian Jinghan², Li Xiaoyan^{1,3*}

1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Hebei Cangzhou Teachers' College, Cangzhou 061001, China; 3. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Wetland is an important ecosystem in earth, wetland ecosystem protection and management using the concept of ecosystem is not only the trend of scientific development, but also the requirement of the current wetland protection and management. Taking wetland ecosystems as a target, the wetland ecological models are designed to be the qualitative or quantitative tools to reflect a variety of processes and relations of wetland ecosystems based on simplifying, analogy or abstract of the composition, structure, processes and functions of the wetland ecosystems. The wetland conceptual ecological model is the most basic model of a variety of wetland ecological models, and is a simplified qualitative expression of the composition factors and their relationships of the wetland ecosystems. Especially the conceptual expression of the wetland ecosystem factors change and their relationships under the influence of human activities. The main purpose of building the wetland conceptual ecological models is to identify the major anthropogenic drivers and stressors on wetland ecosystems, the ecological effects of these stressors, and the best biological attributes or indicators of these ecological responses. The wetland ecosystem is a complex large system or giant system with multi-level, multi-component, complex-structure, rich-feature, multi-feedback and multi-adjustment mechanism. The factors either from inside or from outside of the system, which impact the system states or drive system changes are various, and their impact on the system often has the causes-and-effect linkages. The wetland conceptual ecological model, including external drivers, stressors, ecological effects and attributes that illustrate the major cause-and-effect linkages, all extracted from natural system under the guidance of ecosystem management theory, is a structural relationship network model which can reflect the characteristics and laws of the system change and evolution. Wetland conceptual ecological models can be used with any ecological restoration and conservation program and can become the primary communication, planning, and assessment link among scientists and policy-makers. They also can be the basis on which the future quantitative wetland ecological models are supported.

Key words: conceptual model; ecological model; wetlands; ecosystem management.