

14  
537-546 湿地研究综述\*

殷康前 倪晋仁

(北京大学城市与环境学系 北京 100871)

P2341.7  
X171

**摘要** 湿地研究是近年来国际上众多学科学者们关注的热点,在国内这方面的研究则刚刚起步,较为系统地讨论了湿地概念、湿地分类、湿地模型、湿地评价以及湿地与周边环境的关系,在对已有成果进行综合分析的基础上,针对目前湿地研究中亟待解决的一些问题进行了探讨,并对湿地研究的发展方向进行了评述。

**关键词:** 湿地,分类,模型,评价。

## REVIEW OF WETLAND STUDIES

Yin Kangqian Ni Jinren

(Department of Urban &amp; Environmental Sciences, Beijing University, Beijing, 100871, China)

**Abstract** Great attentions have been paid on the wetland studies in recent years by investigators from different fields. Among the numerous researches covering the wetland identification, classification, modelling, assessment and the relationship to the ambient environments, the wetland problems encountered in China are the main concern of the studies in our country and should be made clear for the researches. On the basis of the existing results of the wetland studies, both the problems open to be solved and the potential trend of the study are discussed, which is of great significance to the future studies.

**Key words:** wetland, classification, modelling, assessment.

对湿地最通俗的理解是有水的陆地,换句话说,湿地可被视为一个内部过程长期为水所控制的生态系统<sup>[1~10]</sup>。

要给湿地下一个确切的定义很难。这是因为湿地分布广泛,种类繁多,相互之间差别极大。但是,这并不妨碍不同学科的学者从不同的角度来看待湿地。从动力地貌学角度来看,湿地是区别于其它地貌系统(如河流地貌系统、海湾、湖泊等水体)的、具有不断起伏水位的、水流缓慢的浅水地貌系统<sup>[1]</sup>,从生态学的角度来看,湿地是陆地与水生系统之间的过渡地带,其地表为浅水所覆盖或者其水位在地表附近变化<sup>[2]</sup>,从资源学的角度来看,凡是具有生态价值的水域(只要其上覆水体水深不超过6m)<sup>[3]</sup>都可视为湿地加以保护,不管它们是天然的或人工的、永久的或暂时的;而美国工程师协会(The US Corps of Engineers)则干脆把湿地定义为在一定的频率和延续时间内被地面水或地下水淹没或浸润的地区<sup>[4]</sup>。从系统论观点来看,湿地是一个半开放半封闭的系统。一方面,湿地是一个较独立的生态系统,它有其自身的形成发展和演化规

\* 国家杰出青年基金资助项目。

收稿日期:1997-02-05,修改稿收到日期:1997-11-16。

律。另一方面,湿地又不完全独立,它在许多方面依赖于相邻的地景系统,和它们发生物质和能量的交换,也影响邻近系统的活动<sup>[5,13-17]</sup>。具体到其发育史上,湿地源于其它生态系统,又演变成它种生态系统<sup>[4]</sup>。

归纳起来,湿地的起源有3种:水体湿地化、陆地湿地化和海岸带演化<sup>[3]</sup>。水体湿地化包括湖泊湿地化、河流湿地化、水库湿地化等,陆地湿地化包括森林湿地化、草甸湿地化、冻土湿地化等。海岸带湿地的发育则包括三角洲湿地、潮间带湿地、海岸泻湖湿地和平原海岸湿地等。

与其它自然地理系统相比,湿地更多地受突发事件的影响<sup>[5,16]</sup>。气候变化、森林火灾、洪水、泥石流、滑坡、火山喷发等自然灾害都可能促使湿地的出现。湿地区别于其它自然地理系统的另一特点是,湿地一旦形成,系统内部旺盛的生命活动将给其带来非同寻常的活力。湿地也会受到人类活动的影响,例如人工修建的水库、渠道、鱼塘、淤灌土地等都是人工湿地的例子,而矿山开采留下的矿坑则是间接造成湿地的例子;相反,人工填塘造地则是对湿地改造的例子。

控制湿地发育的最根本的动力因素来自于当地气候和地貌条件(包括地貌部位、地质基底条件、地貌外力条件等)的演化<sup>[1,3,6,15]</sup>。不同的气候带内湿地的分布具有一定的规律性,在热带和亚热带地区占主要的湿地是森林沼泽,赤道附近是地球上湿地分布最集中的地带之一,而草本沼泽和酸沼主要分布在北纬45~75°之间<sup>[1,4]</sup>。在局部的尺度内,气候差异的影响相对减弱,湿地发育所处地貌条件的影响将起主导作用。

相对于山地、平原、沙漠等其它几种地貌类型而言,湿地是生存时间较短而且较为活跃的一种地貌类型<sup>[15]</sup>。在其从发生到消亡的时间内,湿地生态系统会经过多个发展阶段,在每个阶段都有相应的动植物类型出现并作为系统的代表性物种。

作为内陆水体演化结果的沼泽湿地,其发育历程有较明显的共同性。20世纪初,德国沼泽学家维别尔深入研究了全欧洲典型沼泽地的发展过程,发现各地的沼泽都经历类似的连续变化。据此,他提出了沼泽3个阶段发育的理论<sup>[3]</sup>。该理论认为,发育初期,沼泽地上的植物根系能从矿质土中吸取营养,并可靠地表水和地下水的补给,因此,沼泽地生长富营养型植物,随着沼泽的进一步发展,泥炭层增厚,植物根系达不到矿质层,只能从植物遗体中吸取养分,于是沼泽进入中营养发育阶段;当泥炭层继续增厚,植物只能从大气降水中获得极少量的矿质养料,于是中营养型植物让位于贫营养型植物,沼泽步入高位发育阶段。海岸带的湿地将受海岸带演化的模式控制<sup>[18-22]</sup>。

随着人们对湿地重要性认识的日益深入,湿地受到越来越广泛的重视和研究。

国内湿地研究工作开展的时间不长。在湿地概念被我国科研工作者采用之前,湿地研究主要集中在我国沼泽和海岸带滩涂资源的调查和开发利用保护上。近年来,我国生态科学研究在“生态边缘效应”、“生态系统的自我净化效应”、“生态交错带”等方面也取得了重要成果,对湿地的生态学研究有了长足的进步<sup>[10]</sup>。

在美国,过去100a里的湿地损失以及由此造成的种种环境问题使人们认识到了湿地保护的必要性。据估计,从美国殖民时期以来,有50%的湿地已经消失,即使现在,湿地仍然以每年80000~160000hm<sup>2</sup>的速度消失<sup>[11]</sup>。在1977年,美国颁布了第一部专门的湿地保护法规,该法规规定联邦政府的首要目的是保护湿地,而且应为实现该目的提供基金<sup>[5]</sup>。自此开始了对湿地的广泛研究,生态学、水文学、地貌学、地理学甚至环境工程等学科的学者都从各自的角度出发对湿地展开了研究,出现了大量的有关湿地研究的文献<sup>[23]</sup>。在1995年,美国开始实施一项总投资6.85亿美元的湿地项目,项目的目的是重建佛罗里达州大沼泽地(everglades)的湿地地景,计划到2010年完成<sup>[9,24]</sup>。在世界其它发达国家也将湿地研究作为资源与生态环境保护的重要课题并取得了大量研究成果。近20a来,湿地研究快速取得进展,日益发展成为一门新的交叉学科<sup>[11,15]</sup>。

## 1 湿地分类

湿地分类是湿地研究的基础,从不同的角度出发可以对湿地进行不同的分类。通常湿地分类法包括成因分类法、特征分类法和综合分类法等。

在众多湿地分类方法中有代表性的方法包括 Cowardin 等于1979年提出的分类体系<sup>[7]</sup>和 Brinson 于1993年提出的水文地貌学分类方法<sup>[12]</sup>。前者将湿地和深水系统首先分为生态特征类似的5个大系统,即

海成、海湾成因、河成、湖泊成因和沼生湿地系统;其次,将每一系统下面再按照地貌部位的不同分成亚系统,对每一个亚系统按照基底物质组成的不同分成湿地类,湿地类又分成更细的亚类;对于情况较为特殊的、利用四级特征不能完全描述的湿地,还可用附加特征描述,以便更好地反映湿地水文、化学、土壤特性和人类影响<sup>[7]</sup>。Brinson 的分类法则主要根据湿地的功能划分。这种方法把地貌、水文和水动力特征看成是湿地的 3 个同等重要的基本属性,分析一个湿地的第 1 步就是将这 3 个特征归入相应的功能湿地类中。按湿地的地貌位置可以把湿地分成 4 个大组:属河流地貌系统、属凹地貌系统、属海岸地貌系统和广泛分布的泥炭湿地。水文特征的分类按湿地水源补给的方式不同分为:降水补给类、地表漫流补给类和地下水补给类。水动力特征的大类根据湿地水流的强度和流向分成 3 大类:垂直起伏流、无定向的水平流和双向水平流。在每一个大组下面可以再分类。当湿地的具体特征用上述类别无法包含时,湿地可以用语言来描述其特殊的水文地貌特征<sup>[12,25~27]</sup>。例如对冻土带的酸沼,它是属凹地貌类,但是其主要靠冰雪消融水补给,在生长季节中常在其周围形成局部的小雪融水汇流流域。水文地貌分类方法是一个层次化和模块化相结合的分类系统。利用这种功能和特征分组的思想来搜集整理已知的湿地资料,从中抽象其共同点,不断对分类内容加以扩充,使之成为认识新湿地的重要工具。特别是水文地貌学分类方法在湿地的功能评价中有重要应用价值,它构成了湿地评价的理论基础。

为了对湿地进行科学的描述,采用综合分类方法似乎更加有效。综合分类法首先将湿地按成因分为几大类,如根据我国的实际情况可将湿地粗略地划分为海洋带湿地、内陆沼泽湿地和河成湿地<sup>[3,4,22]</sup>;其次,再根据几类代表性的湿地基底物质组成的不同划分各自的亚类;最后,再对每一亚类根据影响湿地发育的“动力”(包括物理的、化学的和生物的)特征进行描述。这种分类方法的最大特点是它既具有 Cowardin 分层系统的优点,又具有 Brinson 功能分类的优点,同时又使得湿地分类便于与湿地模型结合,使得有可能对湿地发育、湿地功能变化进行动态的、定量的研究。

## 2 湿地模型

湿地模型主要包括湿地生态模型、湿地化学模型和湿地形态变化模型<sup>[8,28,29]</sup>。这些模型可以是概念模型,也可以是模拟模型。概念模型是对湿地系统的一种简化的定性描述,用于表示系统组成和相互关系,常用框图附加自然语言来表达。概念模型是建立湿地模型的第一步,也是整个湿地模型的基础。模拟模型则是以概念模型为基础采用数学语言对湿地进行的定量描述,一般情况下求解数学模型都需借助计算机用来实现,即模拟模型是有输入和输出的可操作的程序。

湿地模型可用作管理工具,以定量地评价湿地开发活动及保护管理活动带来的环境影响;湿地模型可用作预测评价工具,以预测湿地水文及其它“动力”特征的变化;湿地模型可用作实验工具,以检验湿地的概念、理论和湿地研究基本实测数据;湿地模型也可用作辅助设计工具,以在湿地的重新自然化和人工湿地的建造工程中用于辅助设计工程设施的结构、形式和参数等。

湿地模型按其抽象的对象可以细分为:能量循环模型、物质循环模型、水文学模型、空间场生态模型、植物生长模型、因果关系模型、区域综合模型等<sup>[29,30]</sup>。其中,湿地物质流和能量流模型是模拟某种物质(如 N, P 等)在湿地各组成部分之间和湿地与周围环境之间的转移和转化过程,这类模型涉及的主要技术包括:①湿地系统的分解,即根据物质或湿地的特点,把湿地系统分解成可以用单一状态表征其状态的原子;②用数学方程描述系统中的过程,包括反馈过程和无反馈过程;③外界强制因素的输入函数构造;④建立化学动力学模型,用以描述物质循环过程中其内化学存在形成的不断变化和不同形式间的化学反应关系。

水文模型相对于物质能量流模型较为简单,因为它不牵涉到化学反应,尽管模型中涉及的许多因素难以测定。水文模型按其功能可划分为:①系统水文学模型,这种模型把湿地看成一个不可分隔的整体来研究其蓄水量随时间的变化;②区域水文模型,这种模型着眼建立流域和区域范围内的水文模型并用以研究湿地水文;③水动力学模型,这是工程水力学中用以计算径流、潮流的模型在湿地上的移植;④泥沙模型,用以计算短时间内大面积上泥沙、污染物输移及较长时段内泥沙累积冲淤变化量。

生态场系统模型综合了生态模型和水动力输移模型。把整个生态系统分解成空间上相互分隔的区域或者结点,每个结点或区块都是一个生态子模型,而结点间由水动力过程联系起来。

生长模型关心的是系统内单独的树种的生长过程。

因果关系模型是一种概念模型。它用流程图表示因果关系,用正负影响定性地表示影响某一状态(变量)的作用因素。

区域模型是利用整个区域的环境经济学模型来研究湿地的各种价值。

湿地模型的建立首先需要明确其精确范围。由于湿地作为动力作用极为活跃的生态系统,具有明显的动态性,所以湿地遥感已成为广泛应用的技术<sup>[5,31,47]</sup>。在此基础上建立的湿地模型同样需要建模、验证过程之后,方可用于预测。这方面研究中有代表性的可参见文献[30~46]。湿地模型使湿地研究从定性描述向定量描述迈进了一大步。

### 3 湿地评价

湿地评价主要包括湿地功能评价和湿地环境影响评价,前者着重对湿地内部过程的分析比较,常用湿地机理模型作为依据;后者又包括湿地现状评价和预测评价,主要依据是实测数据和评价模型的预测结果<sup>[48~50]</sup>。

关于湿地功能评价,由于目前尚无公认的标准和定级,所以面临的困难十分突出。Brinson 等人在其湿地水文地貌分类体系的基础上提出了湿地功能评价的方法,将湿地评价分解为 5 个步骤<sup>[48]</sup>。Ainslie 则在 Brinson 的 HGM 评价方法的基础上进一步提出了一种快速的湿地功能评价方法<sup>[49]</sup>。Larson 和 Mazzarese 简述了美国 20 年来湿地评价工作的历史,并指出快速湿地评价方法作为地景规划的有效方法正被越来越多的国家和地区采用<sup>[51]</sup>。在欧洲,Maltby 等进行了多国间河岸湿地的对比研究,包括建立所有河岸湿地系统共有的关键过程以及它们与功能间的联系,测定湿地系统对外界干扰的恢复能力以及这些干扰的反应,利用动力模型和定期的观测来确定湿地功能分析阈值等<sup>[50]</sup>。在同一项的对比研究中,Murphy 等人描述了把湿地有机物作为湿地功能标志的可能性,研究中发现这些标志和湿地类型之间确实存在合理的联系<sup>[52]</sup>。在美国,Novitzki 提出了一项由环保局实施的雄心勃勃的计划,即利用地景级别的标志来评价全国的生态健康状态的长期趋势,并且为此设立了实验场。这项计划将会提高湿地管理中地域性湿地功能评价的水平,为已经建立起来的全美湿地档案提供定量的因子描述<sup>[53]</sup>。

关于土地利用的影响,许多人从不同开发方案的角度作了环境经济综合模型评价研究。Yin 建立了一个包含生物物理作用因子、经济因子和社会因子的土地利用评价模型,所考虑的土地利用目标有林业、农业和湿地资源保护地段,模型解法采用目标规划方法<sup>[54]</sup>。

许多学者致力于湿地价值的量化评价研究,从而为决策者提供有力的支持。奥地利的 Kosz 使用费用-效益分析来确定建立“Donau Auen”国家公园的不同方案的经济影响,其中保存湿地的环境效益使用自愿付费调查的方法确定<sup>[54]</sup>。

关于湿地环境影响评价,其评价的基本程序类似于常规的环境影响评价。只是针对现状评价的取样技术(尤其是湿地水质取样技术)和方案需充分反映测定目标量的空间不均匀性。Detenbeck 提出了分类取样的建议,其原理在于找出造成空间不均匀性的影响因子,然后根据因子的分布来布点。他在对数十个不同类型的湿地的调查研究后提出重要的影响因子包括气候、土壤、植被、土地利用等。他还认为操作时最好采用分层的随机方式,分层可以根据水深分带、DO 或者高边缘的距离远近而定<sup>[55]</sup>。

对于湿地植被的监测有 3 种主要方法。即目估法、点频率法和次点频率法<sup>[56]</sup>。对这 3 种基本方法,Brakenhielm 从准确度、精确度、灵敏度和时间诸方面进行了系统的比较<sup>[56]</sup>。

Sader 利用 GIS 和 TM 遥感卫星对美国缅因州的森林湿地作了现状评价研究<sup>[49]</sup>。

湿地预测评价主要取决于湿地模型的可靠程度,详见上节讨论。

进行湿地评价的主要目的是为制订合理的湿地保护对策提供依据。目前,除了常见的各类措施外,最有效的措施还有按湿地“无净损失”的原则对生境损失其规模和功能进行平衡补偿。为此,在对湿地本身发育规律进行研究时,必须将其与周边环境结合进行。

### 4 湿地与周边环境的关系

湿地和周边环境系统的相关联系及其相互作用对于湿地进行正常的功能活动是必不可少的<sup>[57~62]</sup>。首

先,湿地水位是联系湿地和接近的水体系统的重要状态变量。由于湿地对水位变化极为敏感,在这个意义上湿地依赖于相近区域的水体的水质和水量。对于和周边水体相互连通的湿地来说其依赖性更大。从研究的角度来看,可以用交换水量的时间和季节变化来表征湿地这种水文联系,确定不同时间尺度的交换水量是这方面研究最基本的内容。

其次,在湿地的形成、发展和消亡过程中与其邻近环境中泥沙的运动有着紧密的联系。湿地的形成往往是水体中泥沙淤积导致水深变浅所致。湿地在其生存期间系统泥沙冲淤或维持动态平衡,或主要作为泥沙的汇集地区,直至最后淤成陆地。但是由于某种外界的动力变化,湿地也可能向相反的方向转化。例如:在海岸地带由于海平面上升或者陆地沉陷,海水可能侵入湿地,湿地逐渐被海水完全淹没直至全部消失。这期间湿地中先前堆积的大量泥沙可能在潮水作用下重新悬浮,泥沙中的污染物质可能对附近海岸环境带来不利影响。不管在什么情况下,湿地随时都在和周边环境系统发生着泥沙的交换。这种交换不仅影响原湿地系统内部的演变,而且还直接影响湿地的范围和形态。由于泥沙与水体常常一起运动,所以泥沙的变化和水体的变化必须同时考虑,才能正确判定湿地的发育与演变。Delaune 曾利用铀-137 衰变来测定美国路易斯安那州一个快速淹没的海湾中湿地的垂直增长速度,测得每年淤积速率为 0.7~0.8cm,但是相对于海平面每年约 1cm 的上升速度,湿地仍逐步淹没。据此,他建议把附近密西西比河入海的沉积物引入海岸地区<sup>[57]</sup>。

此外,日益增多的人类活动也会对湿地产生巨大的影响。Crumpton 曾对一些湿地周围一定范围内的土地利用带来的影响进行了分析,给出了适合当地湿地情况的具体范围,并建议为提供野生动物连续的生境留出足够的缓冲带;同样,为控制营养物质的地表径流,也留出一定宽度的缓冲带。显然,缓冲带的宽度是因地制宜的,取决于当地的具体地形和生态状况以及地形坡度<sup>[58]</sup>。

湿地与周边环境的相互作用在湿地结构研究中起着重要的作用。相互作用如在不同地貌的河口段,径流和潮流双向作用的强度对比也有所不同,从而使河口附近湿地的发育也呈现出不同的表现<sup>[53-54]</sup>,这也可通过对比黄河和长江三角洲略见一斑<sup>[4]</sup>。同样,湖泊特征也往往对湖泊附近湿地的发育起着决定性的作用。海岸湿地和海洋的关系极为密切,其中最为活跃的因素是海平面的变动。正象 Moorhead 指出的那样,随着海岸带人口的增长和海平面的加速上升,美国大西洋沿岸的大部分湿地的面积将会缩小;即便在堆积海岸地带,如果堆积速度低于海平面上升的速度,湿地仍然可能会被淹没<sup>[59]</sup>。Delaune 的研究给人们加深了这一印象。和湖泊湿地或海岸湿地相比,平原低地湿地只有其支流这唯一的水流和泥沙来源,因而它的发育也主要取决于汇流区域的水文泥沙特性。

湿地发育总是在一定的地质地貌条件下进行的,因而湿地所在区域地质构造背景、岩性特征、河流-湖泊-海岸类型及其地貌特征、水下地貌等条件都与动力条件一起共同控制着湿地演变的方向。

## 5 结语

湿地作为人类共同的财富,在维持区域和全球生态平衡及提供野生动植物生境方面具有重要的意义,从而也自然成为全球共同关注的课题。迄今为止,湿地研究已在诸多方面取得了明显的进展,但总体看来目前的研究具有下列特点:

对发达国家的湿地研究较多,而对发展中国家和地区湿地的研究则相对较少;

从生态学方面进行湿地研究的较多,而从湿地形态动态变化方面进行的研究则相对较少;

定性研究较多,而以模拟模型为工具进行的定量研究则相对较少;

关于单一外动力作用下的湿地发育过程研究较多,而关于多种外动力综合作用条件下的湿地发育过程研究则相对较少;

关于湿地系统内部过程的研究较多,而关于湿地与周边环境相互作用的研究则相对较少。

鉴于以上原因,发展中国家和地区(尤其是经济快速增长的地区)如何做到可持续地利用湿地资源应是今后研究的重要课题。与此同时,对湿地在多种动力共同作用下动态变化的模拟预测以及与周边环境相互作用的研究已成为未来湿地研究中必不可少的重要组成部分。

## 参 考 文 献

1. 简明不列颠百科全书. 北京: 中国大百科全书出版社, 1986
2. 中国大百科全书总编委会. 中国大百科全书出版社编辑部. 中国大百科全书(地理学卷). 北京: 中国大百科全书出版社, 1990
3. 马学慧, 牛焕光. 中国的沼泽. 北京: 科学出版社, 1990
4. 陆健健. 中国湿地. 上海: 华东师范大学出版社, 1990
5. Maltby E. *Waterlogged wealth, why waste the world's wet places*. UK: An Earthscan Paperback, 1986
6. Whigham(ed). *Wetlands of the world I*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993
7. Wilen B O *et al.* Wetlands of the U. S. . in: Whigham(ed), *Wetlands of the world I*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1993
8. Mitsch W J(ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands, 1994
9. Kusler J A, *et al.* Wetlands. *Scientific American*, 1994, 1: 50~56
10. 王尧礼, 李秀珍. 湿地的国内外研究进展. *生态学杂志*, 1997, 1: 58~62
11. Mitsch W J *et al.* Wetland of the old and new world, ecology and management. in: Mitsch W J(ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands, 1994
12. Brinson M M. A hydrogeomorphic classification for wetlands. *Wetlands research program technical report WRP-DE-R*, U. S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1993
13. Pearson S M. Landscape-level processes and wetland conservation in the southern Appalachian Mountains. *Water, Air & Soil Pollution*, 1994, 3~4: 321~332
14. Hubbard R K *et al.* Riparian forest buffer system research at the coastal plain experiment station, Tifton, GA. *Water, Air & Soil Pollution*, 1994, 3~4: 213~236
15. Treltin C C *et al.* Wetlands of the interior southeastern United States: conference summary statement. *Water, Air & Soil Pollution*, 1994, 3~4: 199~208
16. Boule M. An early history of wetland ecology. in: Mitsch W J(ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands, 1994
17. Champion M. Ontario wetlands, an evaluation of adjacent lands. *Global Biodiversity*, 1995, 4: 12~14
18. Nixon S. Between coastal marshes and coastal waters, twenty years research of salt marshes. in: Hamilton P *et al* (ed). *Estuarine and wetland processes with emphasis on modelling*. Plenum Press, New York, 1980
19. 巴恩斯. 海岸泻湖. 北京: 海洋出版社, 1985
20. 柯马尔. 海滩过程和沉积作用. 北京: 海洋出版社, 1985
21. 弗里德曼等. 沉积学原理. 北京: 科学出版社, 1987
22. 王 颖. 祖国的海岸. 北京: 科学出版社, 1976
23. Kenimer A L. A multidisciplinary wetlands research facility. *USDA working group on water quality clean-clean environment-21st century conf proceedings v2; nutrients*. Kansas City, MO, Mar5~8, 1995
24. Young P. The "new science" of wetland restoration. *Environmental Science & Technology*. 1996, 7: 292a~296a
25. Wakeley J S. Identification of wetlands in the Southern Appalachian region and the certification of wetland delimiters. *Water, Air & Soil Pollution*. 1994, 3~4: 217~228
26. Hefner J M. Classification and inventory of wetlands in the Southern Appalachian region. *Water, Air & Soil Pollution*. 1994, 3~4: 209~216
27. Hook D D *et al.* Hydrologic and wetland characteristics of a piedmont bottom in South Carolina. *Water, Air & Soil Pollution*. 1994, 3~4: 293~320
28. 杨戈逊. 生态模型法原理. 上海: 上海翻译出版公司, 1990
29. Mitsch W J. Ecological models for management of freshwater wetlands. in: Jorgenson S E *et al*(ed). *Application of Ecological Modelling in Environmental Management*. Elsevier, Netherland. 1983
30. Jorgenson S E(ed). *Application of Ecological Modelling in Environmental Management*, Par B. Elsevier, Netherland,

- 1983
- 31 Jenson J R. Inland wetland change detection in the Everglades water conservation area 2a using a time series of normalized remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 1995, 2, 199~209
  - 32 Angelidis M O. Pollution mechanism in a Ramsar wetland, delta of the river Evros, Greece. *Aquatic Science*. 1995, 2, 161~170
  - 33 Arheimer B. Modelling the effect of wetlands on regional nitrogen transport. *Ambio*. 1994, 6, 378~386
  - 34 Bakker S A. Spatial and dynamic modelling; describing the terrestrialization of fen ecosystems. in: Mitsch (ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Amsterdam. 1995
  - 35 Boorman L A. Comparative relationships between primary productivity and organic and nutrient fluxes in four European salt marshes. in: Mitsch (ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Amsterdam. 1995
  - 36 Jansson M. Wetlands and lakes as nitrogen transp. *Ambio*. 1994, 6, 320~325
  - 37 Jorgenson S E. A general model of nitrogen removal by wetlands. in: Mitsch (ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Amsterdam. 1995
  - 38 Sklar F H. Spatially explicit and implicit dynamic simulations of wetland processes. in: Mitsch (ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Amsterdam. 1995
  - 39 Verhoeven J T A. A comparative study of nutrient-related processes in geographically separated wetlands, towards a science base for functional assessment procedures. in: Mitsch (ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Amsterdam. 1995
  - 40 Wagner R A. A framework for phosphorus transport modelling in the lake Okeechobee Watershed. *Water Resource Bulletin*. 1996, 1, 57~63
  - 41 Reyes E. Ecosystem models of aquatic primary production and fish migration in Laguna de Terminos, Mexico. in: Mitsch (ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Amsterdam. 1995
  - 42 Mitsch W J. Modelling ecosystem and landscape scales of Lake Erie coastal wetlands. in: Mitsch (ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands. 1995
  - 43 Pinay G. The role of denitrification in nitrogen retention in river corridors. in: Mitsch (ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Amsterdam. 1995
  - 44 McNamara J P. Hydrogeologic controls on peatland development in the Malloryville wetlands, New York. *Journal of Hydrology*. 1992, 4, 279~296
  - 45 Lefeuvre J C. Comparative studies on salt marsh processes, Mont Saint Michel Bay, a multi-disciplinary study. in: Mitsch (ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Amsterdam. 1995
  - 46 Sader S A. Accuracy of landsat-TM and GIS rule-based methods for forest wetland classification in Maine. *Remote Sensing Environment*. 1995, 3, 133~144
  - 47 Brinson M M. Developing an approach for assessing the functions of wetlands. in: Mitsch (ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Amsterdam. 1995
  - 48 Ainslie W B. Rapid wetland functional assessment, its role and utility in the regulatory arena. *Water, Air & Soil Pollution*. 1994, 3~4, 237~248
  - 49 Maltby E. Building a new approach to the investigation and assessment of wetland ecosystem functioning. in: Mitsch (ed). *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands. 1995
  - 50 Lewis R R. Lessons learned from five decades of wetland restoration and creation in North America. Marine Technology Society MTS94, Challenges and opportunities in the marine environment, Washington, DC, Sep 7~9, 1994, 230~233
  - 51 Murphy K J. Biotic indicators of riverine wetland ecosystem functioning. in: Mitsch (ed). *Global Wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands. 1995
  - 52 Yin Y Y. Designing a multisector model for land conversion study. *Journal of Environmental Management*. 1993, 3, 249~266
  - 53 Kosz M. Valuing riverside wetlands; the case of the "Donau-Auen" National Park. *Ecological Economics*. 1996, 2, 109

- ~127
- 54 Detenbeck N E. Temporal and spatial variability in water quality of wetlands in the Minneapolis/St. Paul, MN Metropolitan Area, Implications for monitoring strategies and designs. *Environmental Monitoring Assess.* 1996, 1, 11~40
- 55 Brakenhielm S. Comparison of field methods in vegetation monitoring. *Water, Air & Soil Pollution.* 1995, 1~4, 75~87
- 56 Delaune R D. Marsh aggradation and sediment distribution along rapidly submerging Louisiana Gulf Coast. *Environmental Geology Quaternary Science.* 1992, 1, 57~64
- 57 Crumpton W G. Wetlands and streams as off-site sinks for agricultural chemicals. *USDA working group on water quality, Clean water-clean environment-21st century conf proceedings V1, pesticides.* 1995, 49~53
- 58 Moorhead K K. Response of wetlands to rising sea level in the lower coastal plain of North Carolina. *Ecological Applications.* 1995, 1, 261~271
- 59 Emmett B A. The impact of a riparian wetland on streamwater quality in a recently afforested upland catchment. *Journal of Hydrology.* 1994, 3~4, 337~353
- 60 Nuttle W K. Fluxes of water and solute in a coastal wetland sediment. *Journal of Hydrology.* 1995, 1~4, 89~107
- 61 Neves N J J. Uncertainties in import/export studies and the outwelling theory, an analysis with the support of hydrodynamic modelling. in: Mitsch(ed). *Global wetlands, old world and new.* Elsevier, Amsterdam, 235~256
- 62 Chambers R M. An ecosystem-level context for tidal exchange studies in salt marshes of Tomales Bay, California, USA. in: Mitsch(ed). *Global wetlands, old world and new.* Elsevier, Amsterdam. 1995
- 63 Dame R F. The net flux of materials between marsh-estuarine system and the sea, the Atlantic coast of the United States. in: Mitsch(ed). *Global wetlands, old world and new.* Elsevier, Amsterdam. 1995
- 64 朱而勤. 山东半岛近岸带沉积动力过程. 青岛, 青岛海洋大学出版社, 1992
- 65 Dame R F. Tidal exchange, import-export of nutrients and organic matter in new and old world salt marshes, conclusions. in: Mitsch(ed). *Global wetlands, old world and new.* Elsevier, Amsterdam. 1995