

CHENGSHI FEISHUI RENGONG SHIDI CHULI JISHU

城市废水 人工湿地处理技术

刘汉湖 白向玉 夏 宁 编著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

城市废水人工湿地处理技术

刘汉湖 白向玉 夏 宁 编著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书全面介绍了人工湿地污水处理技术,并附有较多实例。全书包括五章内容,第一章介绍了湿地生态系统的基本概念;第二章介绍了中国湿地生态系统;第三章介绍了湿地生态系统的组成、结构与功能;第四章介绍了人工湿地污水处理技术;第五章介绍了江苏泗洪县潜流式人工湿地系统处理技术研究。

本书可作为高等院校环境科学、环境工程专业教材使用,也可以供相关专业的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市废水人工湿地处理技术/刘汉湖,白向玉,夏宁
编著. —徐州:中国矿业大学出版社,2006.10
ISBN 7 - 81070 - 832 -5

I. 城… II. ①刘…②白…③夏… III. 沼泽化地
—污水处理 IV. ①P941.78 ②X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 129480 号

书 名 城市废水人工湿地处理技术
编 著 刘汉湖 白向玉 夏 宁
责任编辑 潘俊成
责任校对 张海平
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 江苏淮阴新华印刷厂
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 10 字数 250 千字
版次印次 2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷
定 价 25.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前言

湿地是地球表层最独特的生态系统和过渡性景观,是地球表层系统最重要的“物种基因库”,又是人类重要的经济、文化、科学和生活资源库。世界自然保护大纲将湿地与森林、海洋一起并列为全球三大生态系统。湿地在调节气候、涵养水源、蓄洪防旱、控制土壤侵蚀、促淤造陆、净化环境、维持生物多样性和生态平衡等方面具有十分重要的作用,有“自然之肾”之称。20世纪70年代以来,随着人口的急剧增加,对湿地的不合理开发利用导致全球范围内天然湿地面积日益减少,直接威胁到区域、国家乃至全球的可持续发展。2004年香山科学会议第241次学术讨论会专题研讨了中国湿地退化、保护与恢复问题。

基于天然湿地净化机理,人工湿地污水处理技术在20世纪50年代诞生于德国。世界上第一个完整的人工湿地试验始于1974年,是在德国的Othfresen进行的。早期的人工湿地主要用于处理城市生活污水或二级污水处理厂出水,近十年来,英国、美国、德国、法国、澳大利亚、巴西和荷兰等国人工湿地发展迅速,它不仅处理中小城镇的生活污水,而且也广泛应用于农业、畜牧业、食品和矿山等工农业废水的处理,目前已被国内外许多学者和工程技术人员经过工艺改进或者与其他系统组合后用于农业面源污染、城市或公路径流等非点源污染的治理,还有将其推广应用于垃圾场渗出液的处理。目前,欧洲已有数以百计的人工湿地在运行之中,其处理规模有大有小,规模最小的仅处理一家一户的废水(湿地面积约为 40 m^2),规模大的占地达 $5\,000\text{ m}^2$,用以处理人口在1 000人以上的村镇排放的生活污水。据统计,1990年,美国亚利桑那州仅有4座人工湿地处理生活污水,到1997年,数量增加到50座,可见人工湿地在污水处理中的应用潜力。

我国进行人工湿地处理系统研究较晚,“七五”期间才开始进行人工湿地的研究。首例采用人工湿地处理污水的研究工作始于1987年,由天津市环境保护研究所建成占地 $60\,000\text{ m}^2$ 、处理规模为 $1\,400\text{ m}^3/\text{d}$ 的芦苇湿地工程。1989年建成了北京昌平自由水面人工湿地,处理量为 $500\text{ m}^3/\text{d}$ 的生活污水和工业废水,处理效果良好,优于传统的二级处理工艺。20世纪90年代又在深圳建成白泥坑人工湿地示范工程。此后,国家环境保护总局与中国科学院各单位相继采用人工湿地技术进行过一系列处理污水试验,如内蒙古赤峰、沈阳满堂河人工湿地工程,对人工湿地的构建与净化功能进行了研究。20世纪末建成的成都活水公园更展示了人工湿地污水处理新工艺“绿叶鲜花装饰大地,把清水活鱼送还自然”的魅力。

与传统的污水二级生化处理工艺比较,人工湿地污水处理技术具有“一高、三低、一不”的特点,即高效率、低投资、低运转费用和低维持技术,基本不耗电。

2002年江苏电视台《绿色空间》节目对江苏泗洪潜流式人工湿地进行了专题报道,引起了我们极大兴趣,从此开始了人工湿地的研究工作。四年多来,以江苏泗洪县人工湿地污水处理系统为研究对象,课题组先后完成两篇硕士论文:(1)夏宁:泗洪县潜流式人工湿地污水处理系统效能研究(2005);(2)张红振:基于不确定性理论的污水处理厂模型研究(2006)。同期,作者先后对江苏盐城国际湿地、江苏骆马湖自然湿地、江苏泗洪自然湿地等进行了考察。2006年在美国明尼苏达大学学习期间对苏必利尔湖湿地(Lake Superior)也作了初步

了解,同时明尼苏达大学水资源研究中心 L. James Anderson 教授、Nicholas Haig 提供了部分美国的湿地资料,这些给我们以极大帮助和信心。

本书包括五章内容,第一章介绍了湿地生态系统的基本概念;第二章介绍了中国湿地生态系统;第三章介绍了湿地生态系统的组成、结构与功能;第四章介绍了人工湿地污水处理技术;第五章介绍了江苏泗洪县潜流式人工湿地系统处理技术研究。

在江苏泗洪污水处理厂现场采样期间,得到周立刚、潘道永、孙红波等同志的大力支持和协助,在此表示衷心感谢。在本书资料整理、编写过程中,得到了张红振、郭如美、杨坤、鲁璐、孙晓虎、易其臻、李涛和苏晓丽等研究生的积极参与和支持。

由于编写时间紧张,作者水平有限,书中不妥之处在所难免,欢迎读者和有关专家批评指正。

作 者

2006 年 9 月

目 录

1 湿地生态系统的基本概念	1
1.1 湿地的定义	1
1.1.1 湿地定义的概况	1
1.1.2 几种主要的湿地定义	1
1.2 湿地的类型与分布	3
1.2.1 湿地类型与分类	3
1.2.2 湿地的分布	7
1.3 湿地生态系统的性质及特征	8
1.3.1 水体系统和陆地系统相互作用的结果	8
1.3.2 多水的环境	8
1.3.3 特殊的基质	9
1.3.4 生物多样性丰富	9
1.3.5 特殊的物质循环规律	9
1.3.6 动态变化特征	10
2 中国湿地生态系统	11
2.1 我国湿地的界定与分类	11
2.1.1 我国湿地的界定	11
2.1.2 我国湿地的分类	11
2.2 我国湿地的分布与分区	13
2.2.1 东北湿地	14
2.2.2 华北湿地	16
2.2.3 长江中下游湿地	17
2.2.4 东部沿海湿地	19
2.2.5 云贵高原、秦岭以南山地丘陵湿地	20
2.2.6 蒙新干旱和半干旱湿地	20
2.2.7 青藏高原高寒湿地	21
2.3 我国湿地的特点	23
2.3.1 类型多	23
2.3.2 面积大	23
2.3.3 分布广	25
2.3.4 区域差异显著	25
2.3.5 生物多样性丰富	25

2.4	我国湿地——资源的宝库	25
2.4.1	湿地土地资源	25
2.4.2	湿地水资源	26
2.4.3	湿地生物资源	26
2.4.4	湿地泥炭资源	26
2.5	我国的“国际重要湿地”	27
2.5.1	1992 年列入《湿地公约》的国际重要湿地	28
2.5.2	2002 年列入《湿地公约》的国际重要湿地	29
2.5.3	2005 年列入《湿地公约》的国际重要湿地	30
3	湿地生态系统的组成、结构与功能	32
3.1	湿地生态系统的组成要素	32
3.1.1	湿地生态系统的非生物要素	33
3.1.2	湿地生态系统的生物要素	35
3.1.3	湿地生态系统的一般结构模型	36
3.2	湿地生态系统组合结构	38
3.2.1	生态系统的等级理论	38
3.2.2	湿地生态系统水平结构	39
3.2.3	湿地生态系统垂直结构	39
3.2.4	湿地生态系统的食物链和食物网	41
3.3	湿地生态系统的功能	42
3.3.1	湿地水文功能	43
3.3.2	生物地球化学功能	46
3.3.3	湿地生态功能	52
3.4	湿地功能评价	56
3.4.1	湿地功能评价及其意义	56
3.4.2	美国的湿地功能评价研究	58
3.4.3	欧盟的湿地功能评价研究	61
3.4.4	国际研究机构开展的湿地功能评价研究	63
3.4.5	中国的湿地功能评价研究	63
4	人工湿地污水处理技术	64
4.1	概述	64
4.1.1	人工湿地的组成	64
4.1.2	人工湿地的生态效益	66
4.1.3	人工湿地的经济效益	67
4.1.4	人工湿地的社会效益	67
4.2	人工湿地的类型及其特点	68
4.2.1	表面流人工湿地	68
4.2.2	潜流式人工湿地	69
4.2.3	单一垂直流人工湿地	69

4.2.4	复合垂直流人工湿地	70
4.3	人工湿地去除污染物的机理	70
4.3.1	悬浮物的去除	70
4.3.2	有机物的去除	71
4.3.3	氮的去除	71
4.3.4	磷的去除	72
4.3.5	难降解有机化合物的去除	73
4.3.6	金属离子的去除	73
4.3.7	细菌的去除	73
4.4	人工湿地的设计与计算	74
4.4.1	湿地处理系统的设计	74
4.4.2	湿地系统的布局	76
4.4.3	湿地系统的分区	77
4.4.4	塘区	77
4.4.5	湿地床的防渗	78
4.4.6	基质选择	78
4.5	人工湿地的应用实例	82
4.5.1	生活污水处理人工湿地	82
4.5.2	雨水处理人工湿地	83
4.5.3	化工废水处理人工湿地	86
4.5.4	农田径流处理人工湿地	88
4.5.5	农业废水处理人工湿地	89
4.5.6	垃圾渗滤液处理人工湿地	93
4.5.7	污泥脱水人工湿地	97
4.6	深圳沙田潜流人工湿地系统运行效能研究	98
4.6.1	湿地系统工艺流程	98
4.6.2	湿地的运行	100
4.6.3	运行效果	102
4.6.4	结论	105
5	江苏省泗洪县潜流式人工湿地系统处理技术研究	107
5.1	中小城镇污水处理技术的选择	107
5.1.1	中小城镇的污水特点	107
5.1.2	污水处理技术的选择	107
5.2	国内外人工湿地发展现状	108
5.3	泗洪县人工湿地污水处理厂	109
5.3.1	概述	109
5.3.2	泗洪县人工湿地污水处理厂污水处理工艺	110
5.3.3	泗洪县人工湿地污水处理厂污水处理工艺设计	111
5.4	人工湿地填料物理化学特性和吸附性能研究	115

5.4.1	引言	115
5.4.2	实验材料与内容	115
5.4.3	吸附能力测定内容和方法	116
5.4.4	实验结果与分析	116
5.4.5	讨论	125
5.4.6	小结	126
5.5	人工湿地系统微生物种群结构研究	126
5.5.1	引言	126
5.5.2	实验内容和方法	126
5.5.3	实验结果与分析	128
5.5.4	讨论	133
5.5.5	小结	133
5.6	人工湿地废水污染物去除效果研究	134
5.6.1	引言	134
5.6.2	实验内容和方法	134
5.6.3	实验结果与分析	135
5.6.4	讨论	140
5.6.5	小结	141
5.7	结论和建议	142
5.7.1	结论	142
5.7.2	建议	143
参考文献		144

1 湿地生态系统的基本概念

1.1 湿地的定义

1.1.1 湿地定义的概况

到目前为止,国际上并没有统一的湿地概念。一般认为,湿地经常位于深水系统和陆地系统之间的边缘,受深水系统和陆地系统的共同影响,是地表长期或季节性积水的景观类型。在世界自然资源保护联盟(IUCN)、联合国环境规划署(UNEP)和世界自然基金会(WWF)的世界自然保护大纲中,湿地与森林、海洋一起并称为全球三大生态系统。它具有稳定环境物种基因保护及资源利用等功能,被誉为“自然之肾”、“生物基因库”和“人类摇篮”。复杂的地理条件形成了多种类型湿地。虽然不同类型的湿地具有不同的特征,但它们都具有一些共性特征,即所有湿地都有长期、季节性浅层积水或者土壤饱和;常常具有独特的土壤条件,长期处于厌氧环境或厌氧与好氧环境交替,积累有机植物并且分解缓慢;具有多种多样的适应淹水或土壤饱和条件的动物和植物,缺乏不耐水淹的植物。

由于湿地类型的多样性、分布的广泛性、面积的差异性、淹水条件的易变性,以及湿地边界的不确定性,对湿地进行科学的定义比较困难,目前尚无统一的、被普遍认同的湿地定义。由于湿地经常位于水陆交错地带,受水陆系统共同作用,因此许多学者不是将湿地归属于陆地系统,就是将湿地归属于水体系统。这一缺陷导致了湿地管理、分类中出现混淆和矛盾。但湿地定义多样性也是正常现象,反映了湿地的类型、大小、区位和环境条件的复杂性与多样性。

W. J. Mitsch 等人在《湿地》(Wetlands)一书中对湿地概念进行了评述:由于认识上的差异和目的不同,使得不同的人对湿地定义强调不同的内容,如湿地科学家考虑的是伸缩性大、全面而严密的定义,以便于进行湿地分类、野外调查和研究;湿地经营者则关心管理条例的制定,以阻止或控制湿地的人为改变,因此需要准确而有法律效力的定义。由于人们的各种需要不同,便产生了各种不同的湿地定义。

1.1.2 几种主要的湿地定义

最早关于湿地的定义之一是由美国鱼类和野生动物保护协会 1956 年提出,发表在报告集《美国的湿地》上,通常称之为“通报 39”。即“湿地”一词是指被浅水或暂时性积水所覆盖的低地,一般包括草本沼泽(marshes)、灌丛沼泽(swamps)、苔藓泥炭沼泽(bogs)、湿草甸(wetmeadow)、泡沼(potholes)、浅水沼泽(sloughs)以及滨河泛滥地(bottom land),也包括生长挺水植物(emergent vegetation)的浅水湖泊或浅水水体,但河、溪、水库和深水湖泊等稳定水体不包括在内,因为这些水体不具有这种暂时性,对湿地土壤植被的发展几乎毫无作用。该定义强调了湿地作为水禽生境的重要性,包括了 20 种湿地类型,直到 20 世纪 70 年

代一直是美国所用的主要湿地分类基础,但该定义对水深未做规定。

美国军人工程师协会在 1977 年“清洁水行动”增补本的“404”议案要求下,给出了如下湿地定义:“湿地这一术语是指那些地表水和地面积水浸淹的频度和持续时间很充分,能够供养(在正常环境下确实供养)那些适应于潮湿土壤的植被的区域。通常湿地包括灌丛沼泽(swamps)、草本沼泽(marshes)、苔藓泥炭沼泽(bogs)以及其他类似的区域。”这一概念只给出一项指标即植被,主要是为了管理中应用的简便。

湿地较为综合的定义是美国鱼类和野生动物保护协会 1979 年提出的,也是科学家经过多年的考证所采纳的一个。这一定义发表在题为《美国的湿地和深水生境分类》的研究报告中。定义如下:“湿地是处于陆地生态系统和水生生态系统之间的转换区,通常其地下水位达到或接近地表,或者处于浅水淹覆状态,湿地必须至少具有以下三个特点之一:① 至少是周期性地以水生植物生长为优势;② 基质以排水不良的水成土为主;③ 土层为非土质化土(nonsoil),并且在每年生长季节的部分时间水浸或水淹。”当前,这一概念在美国最为广泛地被湿地科学家所接受,它为美国的湿地分类和湿地综合详查提供了依据。

1995 年美国农业部在“食物安全行动”中列出了“swamphuster”的条款,湿地被定义为:“湿地是一种土地,它具有一种占优势的水成土壤;经常被地表水或地下水淹没或饱和,生长有适应饱和和土壤环境的典型水生植被,在正常情况下,生长有一种这样的植被。出于这项行动和其他因素的考虑,这个定义没有包括阿拉斯加农业开发潜力很高的土地。”这一基于农业的定义,强调的是水成土壤。

加拿大的学者将湿地定义为:“湿地是指水淹或地下水位接近地表,或水分饱和时间足够长,从而促进湿成和水成过程(wetland and aquatic processed),并以水成土壤、水生植被和适应潮湿环境的生物活动为标志的土地。”湿地的湿、干两种极端情况为:① 有浅层明水面,一般水深小于 2 m;② 在生态系统全部发育过程中,淹水为主导条件的周期性淹水地域。还有的学者将湿地定义为:“湿地是长期水饱和,有助于湿生或水生过程的土地,以排水不良的土壤、水生植被和适应湿生环境的多种生物活动为特征。”这一定义强调了潮湿的土壤(wet soils)、水生植被(hydrophytic vegetation)和“多种”生物活动。

英国 J. W. Lloyd 等人(1993)定义湿地为“一个地面受水浸润的地区,具有自由水面。通常是四季存水,但也可以在有限的时间段内没有积水,自然湿地的主要控制因子是气候、地形和地质。人工湿地还有其他控制因子。”

日本有关学者认为,“湿地的主要特征,第一是潮湿;第二是地下水位高;第三,至少在一年的某段时间内,土壤是处于饱和状态的。”这一提法充分表明日本当前湿地界在湿地问题上强调水分和土壤,但同时忽略了植被现状。

1971 年,在 IUCN 的主持下,在伊朗的拉姆萨(Ramsar)会议上通过了《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》(Convention Wetlands of International Importance Especially as Waterfowl Habitat),简称《湿地公约》。《湿地公约》中对湿地的定义是:不论其为天然或人工、长久或暂时性的沼泽地、泥炭地或水域地带,静止或流动的淡水、半咸水、咸水水体,包括低潮时水深不超过 6 m 的水域;同时,还包括邻接湿地的河湖沿岸、沿海区域以及位于湿地范围内的岛屿或低潮时水深不超过 6 m 的海水水体。

由上述可见,国际上对湿地的定义有多种,虽然各有侧重,但基本都从水、土、植物 3 个

要素出发,界定了多水(积水或饱和)、独特的土壤和适水的生物活动是湿地的基本要素。湿地具有的特殊性质——积水或淹水土壤、厌氧条件和相应的动植物,在本质特征上是既不同于陆地系统也不同于水体系统的独特的系统。

1.2 湿地的类型与分布

1.2.1 湿地类型与分类

湿地的分类主要是根据湿地结构、功能特征的不同将湿地划分为不同等级系统。同一类型具有共性特征,不同类型之间具有差异性。湿地分类必须建立在对湿地本质特征充分认识的基础上。由于湿地生态系统既具有陆地生态系统的某些特征,也具有水体生态系统的某些特征,因此,湿地生态系统具有明显的过渡性、复合性,加之湿地管理的多目标性,目前还没有统一的湿地分类系统。

(1) 湿地水文分类

湿地水文分类是以湿地水文条件的差异为基础进行的分类。如在 20 世纪 50 年代早期,美国鱼类和野生动物保护协会为了满足国家湿地调查的需求,制定了湿地分类系统,发表在美国鱼类和野生动物保护协会 39 号通报上。该分类系统将湿地分为内陆淡水湿地、内陆咸水湿地、海岸淡水湿地和海岸咸水湿地 4 大类,再根据淹水深度和淹水持续时间分为 20 种湿地类型(表 1.1)。

表 1.1 美国鱼类和野生动物保护协会 39 号通报湿地分类

湿地类型		特征
内陆 淡水 湿地	季节性淹水	土壤被水覆盖或经常淹水,但在生长季节大部分时间里,排水良好;分布于低洼盆地或平地部位
	淡水草甸	生长季节无长期积水;表面淹水在几厘米之内
	浅水沼泽	生长季节土壤积水;水深一般在 15 cm 左右
	深水沼泽	土壤积水 15 cm~1 m
	开阔水体	水深小于 2 m
	灌丛沼泽	土壤积水;水深一般在 15 cm 以上
	木本沼泽	土壤积水;水深一般为 30 cm;沿水流缓慢的溪流、平坦高地、浅水湖泊分布
	藓类沼泽	土壤积水;覆盖有海绵状苔藓
内陆 咸水 湿地	盐碱平地	大雨过后地表淹水;生长季节地表积水深在几厘米之内
	盐碱沼泽	生长季节土壤积水;水深一般为 0.7 cm~1 m,分布于浅水湖泊周围
	咸水水体	长期咸水淹没的地方;水深不稳定
海岸 淡水 湿地	浅水沼泽	生长季节土壤积水;高潮时水深为 15 cm;分布于潮汐性河流、海湾、三角洲深水沼泽,在向岸一侧
	深水沼泽	高潮时水深为 15 cm~1 m;沿潮汐性河流分布
	开阔水体	潮汐性河流和海湾浅水部分

续表 1.1

湿地类型		特征
海岸 咸水 湿地	盐滩	生长季节土壤淹水;有时有规律地被高潮淹没;向陆一侧分布有盐化草甸和盐沼
	盐化草甸	生长季节土壤淹水;几乎不被潮水淹没;在盐沼的向陆一侧
	不规则淹水盐沼	在生长季节不规则地间歇性被风暴潮淹没;沿海湾等岸边分布
	规律性淹水盐沼	平均高潮淹水在 15 cm 以上;沿开阔海洋和海湾分布
	海湾	平均低潮线以下的浅海
	红树林沼泽	平均高潮水深为 15 cm~1 m, 土壤覆盖, 沿佛罗里达南海岸分布

Brinson(1993)提出,不同水源补给条件与沼泽类型具有相关性(图 1.1)。

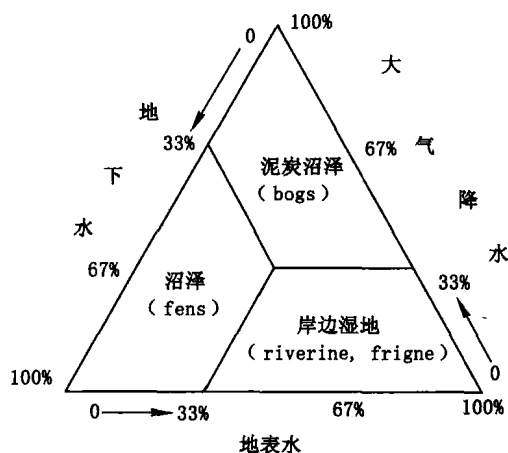


图 1.1 不同水源补给与沼泽类型关系(据 Brinson, 1993)

(2) 湿地水文地貌分类

Brinson(1993)提出了用于湿地功能评价的水文地貌分类系统。作为一种评价湿地物理、化学和生态功能的方法,这种分类系统正在得到广泛的应用,而且这种系统非常适用于比较湿地功能完整性的水平或者评价人类活动对湿地的影响和缓解措施。该分类系统从一些早期的以水动力学作为主要分类依据的分类系统中获得启示,主要是建立在不同地貌条件下水动力作用差别基础之上。因此,湿地水文地貌分类系统有 3 个主要因素:地貌条件、水源补给类型、水动力条件。把湿地的地貌、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。地貌条件可以分为 4 种:低洼地、河岸地、边缘湿地和广阔的泥炭地。前 3 种地貌环境主要与水文条件有关,而泥炭地与前 3 种不同,主要是生物有机体堆积影响水文条件。水源补给类型包括降水、地表水和地下水。湿地很少为单一水源补给,一般具有混合补给的特征。水动力条件是指湿地中水流动的方向和强度,可以分为 3 大类:由蒸发蒸腾作用、降水或地下水补给引起的湿地水面垂直运动的垂直起伏流;由地形梯度等引起的单向水平流和双向水平流。

(3) 湿地能量梯度分类

湿地的形成、发育受环境要素的制约,环境要素的梯度变化形成不同类型的湿地。

H. T. Odum等人在 1974 年根据海岸生态系统的光照、温度的季节性分配等差异和胁迫(如冰等)不同,将海岸生态系统分为盐沼和红树林沼泽两类。瑞典科学家提出了瑞典湿地类型与水分、养分等梯度的关系模型(图 1.2)。

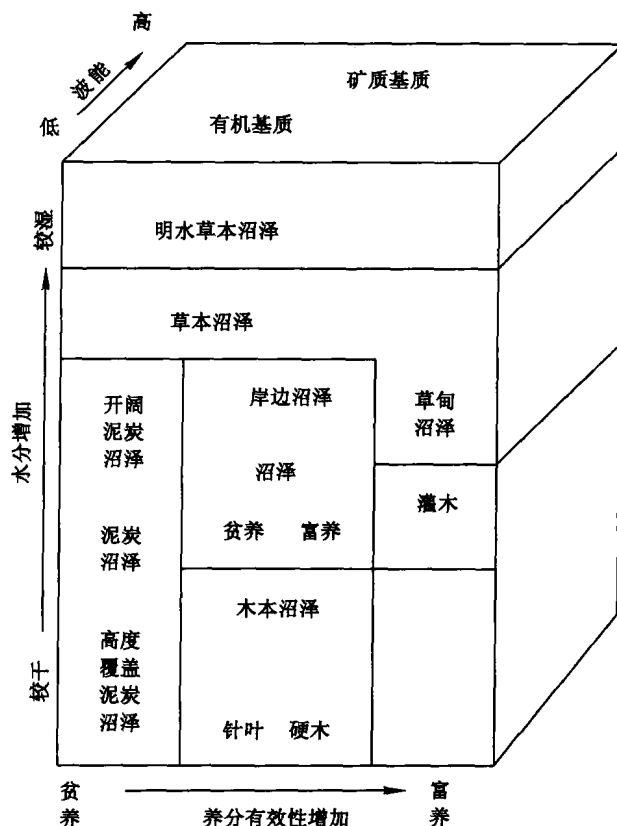


图 1.2 水分梯度、养分梯度与湿地类型的相关性(据 Harris 等,1996)

(4) 湿地综合分类

美国鱼类和野生动物保护协会 1974 年编制了湿地综合分类系统。该分类系统认为湿地与深水生境相互联系,具有生态相关性,所以应把两者联系在一起进行分类。

该分类系统将湿地划分为系统、亚系统、类和亚类 4 级。首先根据湿地水文、地貌、化学和生态因素的相似性将湿地分成 5 大系统,即海洋湿地、河口湿地、河流湿地、湖泊湿地和沼泽湿地;再根据湿地的水文特征分成亚系统,如将海洋湿地系统、河口湿地系统划分为潮下带湿地和潮间带湿地亚系统,将河流湿地系统划分为常年流水、比降较低、没有潮汐影响的河流亚系统,常年流水、比降较高、没有潮汐影响的河流系统和间歇性流水的河流亚系统,将湖泊湿地系统划分为深水生境亚系统和湖滨延伸到低潮时水位低于 2 m 的湖岸湿地亚系统。类的划分主要根据占优势的植被生活型和基质组成等湿地外貌特征,如果植被覆盖率超过 30%,则根据植被进行分类(如灌木湿地);如果植被覆盖率低于 30%,则根据基质进行分类(如松散底质)。按照植被的不同把湿地类细分成湿地亚类。如果有必要的话,对某些类型湿地可以根据优势种特征做进一步描述。

(5) 《湿地公约》中的湿地分类

《湿地公约》最初主要是从湿地保护与管理的角度出发,尤其是从保护水禽栖息地的角度出发,制定了湿地分类系统。

《湿地公约》中将湿地划分为咸水、淡水和人工湿地 3 大类,每大类下面又分为若干二级单位、三级单位和四级单位。按此分类系统,共有 36 个四级单位,见表 1.2。

表 1.2 《湿地公约》中的湿地分类系统

一级单位	二级单位	三级单位	四级单位
咸水湿地	浅海	潮下带	低潮时水深不足 6 m 的永久无植物生长的浅水水域,包括海峡和海湾 潮下水生植被层,包括各种海草和热带海洋草甸 珊瑚礁
		潮间带	多岩石的海滩,包括礁崖和岩滩 碎石海滩 无植被的泥沙和盐碱滩 有植被的沉积滩,包括红树林
	河口湿地	潮下带	永久性水域和三角洲系统
		潮间带	具有稀疏植被的泥、沙土和盐碱滩 沼泽:盐碱、潮汐半盐水和淡水沼泽 森林沼泽:红树林、聂帕棕榈林和潮汐淡水沼泽林
		泻湖	半咸水至咸水湖,有一个或数个狭窄水道与海相通
		盐湖(内陆)	永久性或季节性盐水、咸水湖、泥滩和沼泽
	淡水湿地	河流湿地	永久性的 河流、溪流、瀑布和三角洲
			暂时性的 河流、溪流和洪泛平原
		湖泊湿地	永久性的 8 hm ² 以上的淡水湖和池塘及间歇性淹没的湖滨
			季节性的 淡水湖(8 hm ² 以上)和洪泛平原湖
		沼泽湿地	无林湿地 永久性无机土壤沼泽,其挺水植被的基部在生长季节的大部分时间内浸没在水中 永久性泥炭沼泽,包括纸莎草和香蒲占优势的热带山地峡谷 季节性无机土壤沼泽,包括泥沼、贫养泥炭地、沼穴、洪泛草地和苔草地 泥炭地,包括灌木、苔藓和富养泥炭地 高山和极地湿地,包括融水浸湿的季节性洪泛草甸 绿洲和周围有植被的淡水泉 地热湿地
			木本湿地 疏林/灌木沼泽:无机土壤上以灌木为主的沼泽 淡水沼泽林:泥炭森林沼泽季节性无机土壤洪泛林地 有林泥炭地:泥炭森林沼泽

1 湿地生态系统的基本概念

续表 1.2

一级单位	二级单位	三级单位	四级单位
人工湿地	淡水/海水养殖		池塘
	农用湿地		水塘、蓄水池和小型水池 稻田、水沟/渠 季节性洪泛耕地
	盐田		盐池和蒸发池
	城市和工业用湿地		废水处理区;沉淀池、氧化塘和处理场 开采区;采石坑、采矿池和取土坑
	蓄水区		水库,具有缓慢的季节性水位变化 水电坝,具有周/月度的水位变化

1.2.2 湿地的分布

湿地在世界上分布广泛。据初步估计,全世界湿地面积约为 $(7 \sim 9) \times 10^6 \text{ km}^2$ (表 1.3),约占地球陆地面积的 $4\% \sim 6\%$ 。Maltby 和 Turner(1983)估计全球湿地面积约为 $8.4 \times 10^6 \text{ km}^2$,占全球陆地面积 6.4% ;其中 56% 的湿地分布在热带和亚热带(表 1.4)。

表 1.3 全球不同气候带湿地分布面积/ $(\times 10^6 \text{ km}^2)$ (据 Mitsch 等,2000)

气候带	Maltby 和 Turner(1983)	Matthews 和 Fung(1987)	Aselmann 和 Crutzen (1989)	Gorham(1991)
北极	2.8	2.7	2.4	3.5
温带	1.0	0.7	1.1	
亚热带/热带	4.8	1.9	2.1	
水稻田		1.5	1.3	
总计	8.6	6.8	6.9	

表 1.4 世界湿地分布(据 Mitsch 等,1986)

地带	地区	湿地面积/ $(\times 10^6 \text{ km}^2)$	占陆地面积/%
北极	湿润半湿润	0.200	2.5
寒带	湿润半湿润	2.558	11.0
亚寒带	湿润	0.539	7.3
	半湿润	0.342	4.2
	干旱	0.136	1.9
亚热带	湿润	1.077	17.2
	半湿润	0.629	7.6
	干旱	0.439	4.5
热带	湿润	2.317	8.7
	半湿润	0.221	1.4
	干旱	0.100	0.8
合计		8.588	6.4

1.3 湿地生态系统的性质及特征

多水(积水或饱和)、独特的土壤和适水的生物活动是湿地的基本要素。湿地具有的特殊性质——积水或淹水土壤、厌氧条件和相应的动植物,是既不同于陆地系统也不同于水体系统的本质特征。

1.3.1 水体系统和陆地系统相互作用的结果

湿地的分布具有广泛性和不均匀性,但其成因都是水体系统和陆地系统相互作用的结果。湿地的形成一般有两种主要途径:一种为陆化过程,由于水体系统水位、水体系统自身以及流域的营养状况、植物地理条件、水体系统的面积和形状、水体系统底部和四周的地形等条件的变化,水体系统不断淤积使淹水深度变浅,并伴随有水生植物的发育而形成湿地;另一种途径为沼泽化过程,陆地系统由于河流泛滥、排水不良以及地下水水位接近地表或涌水等作用而形成湿地。平坦的盆地或河谷,如果下层由不透水的黏土沉积物构成,而且周期性或长期被流动缓慢或静止水过饱和,容易产生沼泽化过程。

水体系统和陆地系统相互作用的方式和强度不同,形成不同类型的湿地。湿地一般发育在陆地系统(如高地上的森林、草地)和水体系统(如深水湖泊、海洋)的交界处,如海滨湿地、湖滩湿地、河滩湿地、河口湿地等,但又与陆地系统、水体系统有着本质差异。湿地也可以孤立地发育在水分饱和地方,如某些内陆沼泽等,这里的水体系统为地下水含水层。

1.3.2 多水的环境

湿地在空间上分布处于陆地系统和水体系统之间的过渡地带,对水文状况非常敏感。水文控制着湿地生物和非生物特征,绝大多数湿地水流和水位是动态变化的,降水、地形和与湿地相连的湖泊、河流影响湿地的水文状况(湿地淹水频率、淹水持续时间、淹水周期等)。一般将湿地水位随时间变化模式称为湿地水文周期。湿地水文周期是湿地的生态特征之一,海滨湿地水位具有日变化特征,几乎所有湿地都具有季节变化特征,一些湿地水位变化也有年际变化特征。

湿地既不是水体系统,也不是陆地系统。湿地具有深水水体系统的某些特征,如厌氧环境和藻类、脊椎动物和无脊椎动物。多数湿地具有维管束植物为优势种的植物区系。湿地经常分布在陆地生态系统和水生生态系统的交界处。地下水和降水也会形成孤立湿地。尽管湿地与陆地系统和水生系统在结构和功能上具有某些相似性,而且湿地是陆地系统和水生系统的自然界面,但湿地与其他生态系统具有明显的差异(表 1.5)。

表 1.5 湿地系统与陆地系统、水体系统基本特征对比

基本特征	陆地系统	湿地系统	水体系统
水文状况	由干到湿	季节或永久淹水	永久淹水
生物地球化学作用	源	源、汇或转换器	汇
生产力	由低到中	一般较高	一般较低