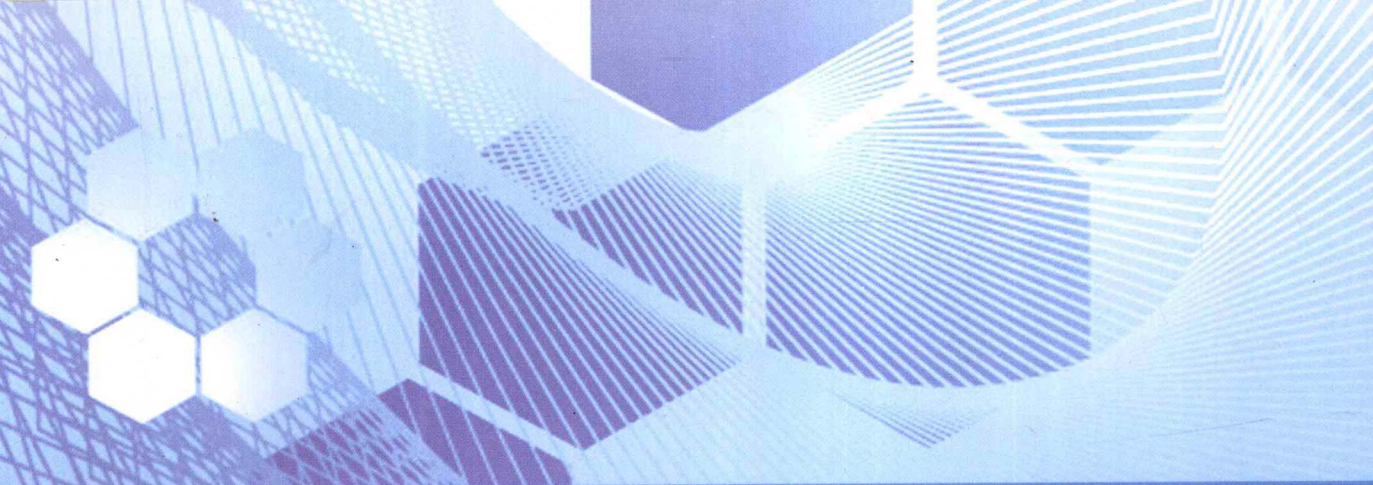




镇江滨江湿地 植物群落结构、功能 及修复技术研究

李萍萍 吴沿友 付为国 等著



科学出版社
www.sciencep.com

镇江滨江湿地植物群落结构、 功能及修复技术研究

李萍萍 吴沿友 付为国 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以长江滨江湿地为研究对象,系统地研究了滨江湿地植物群落结构及功能。通过对镇江滨江湿地植物群落的调查和分析,揭示了滨江湿地植物群落的演替规律,阐明了滨江湿地优势植物的生长特性;从形态、生态、生理和生化等多个方面,探讨了滨江湿地优势植物的种间关系和植物群落演替的内在机制;构建了优势植物芦苇的生长模拟模型;研究了营养物质和氧化酶在湿地土壤和植物中的时空分布规律;对镇江不同滨江湿地的主要生态服务功能及价值进行了系统科学的评价,其研究结果为滨江湿地植被修复提供了理论依据和技术支撑。

本书可作为大专院校和科研单位从事湿地与生态保护的专业人员、科研工作者及研究生的参考用书,也可作为大学本科生学习生态学的课外材料。

图书在版编目(CIP)数据

镇江滨江湿地植物群落结构、功能及修复技术研究/李萍萍,吴沿友,付为国等著. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-021335-8

I. 镇… II. ①李…②吴…③付… III. 长江流域-沼泽化地-植物群落-研究-镇江市 IV. Q948.525.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 031873 号

责任编辑:霍春雁 席 慧/责任校对:刘亚琦

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008 年 6 月第一次印刷 印张:10

印数:1—1 000 字数:225 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<明辉>)

前 言

由于大量的泥沙沉积,长江滨江地带逐渐形成了边滩、心滩等一系列沙洲,进一步发育成滨江湿地。与其他类型的湿地一样,滨江湿地同样具有抵御洪水、调节径流、控制污染、调节气候、促淤造陆、美化环境等方面的作用。

长江中下游流域是我国经济发展最为迅速和人口最为密集的地区之一。近来,由于人为活动频繁,环境污染加剧,加上特殊的生态环境、水文关系和地理位置,使得滨江湿地的功能日趋减弱。植被单一、泥沙淤积增加、环境容量降低、湿地地理面积减小,严重地影响了长江中下游地区的经济可持续发展和人民的生活水平和生活质量。为了保护 and 修复滨江湿地,我们开展了对滨江湿地植物群落结构及功能的研究。

镇江滨江湿地具有典型性。滨江水体为通长江的感潮水体,水位呈现明显的年周期、月周期和日周期变化,水位变化可达 1~8m;泥沙淤积严重,水体浑浊,透明度低;工农业污染物的大量排放,致使滨江水体的水质变差,局部地区的水质严重恶化;围网捕鱼,破坏了植被,同时也使许多鸟类触网死亡,影响了鸟类和其他动物的栖息,整个生态系统都遭到了破坏。此外,大量的湿地被开发为工农业生产和房地产等用地,使天然湿地面积缩小,长江行洪能力受到影响。因此,对镇江滨江湿地保护和修复进行立项已刻不容缓。

自 2003 年 11 月至 2006 年 11 月,我们在国家“十五”重大科技专项“镇江水环境质量改善与生态修复技术研究及综合示范”的资助下,以镇江滨江湿地为对象,开展了一系列的试验研究。通过对镇江滨江湿地植物群落的调查和分析,研究了滨江湿地优势植物的生长特性、优势植物的种间关系和植物群落演替的内在机制,构建了优势植物芦苇的生长模拟模型;探讨了营养物质和氧化酶在湿地生态系统中的时空分布规律;对镇江不同类型滨江湿地的主要生态服务功能及价值进行了系统科学的评价。研究成果集中体现在本书中。

本书共分 7 章。第 1 章,绪论。对湿地的国内外研究现状进行介绍,对滨江湿地的特性和研究意义进行了阐述。第 2 章,镇江滨江湿地植物群落演替规律。对滨江湿地植物群落演替阶段进行科学划分,研究了演替进程中的群落物种多样性、各演替阶段的生态位的动态等。第 3 章,镇江滨江湿地优势植物的生长特性。对北固山湿地主要优势植物芦苇和蔺草的生长、光合作用日变化和季节变化规律进行了研究。第 4 章,滨江湿地优势植物的种间关系。研究了优势植物间竞争特性,氧化酶及一些生理指标与植物的竞争性的关系和机制。第 5 章,滨江湿地优势种芦苇的生长模拟模型。通过分析芦苇的拓扑组成及形态结构变化规律,构建芦苇的发育进程、形态发生、生理功能以及同化物再分配模型。第 6 章,滨江湿地生态系统的物质循环与能量流动。对不同植被下的土壤中的元素空间分布差异和春秋季节变化进行了研究,探讨了元素分布的生态意义,阐述了滨江湿地的能量流动规律。第 7 章,滨江湿地生态系统服务功能与价值评价。分析湿地的水体污染物去除能力、湿地植被对小气候的影响以及湿地的社会价值,研究

了滨江湿地生态系统的评价系统。

本书是由李萍萍同志领导的课题组集体完成的学术专著。李萍萍同志在本书的学术思想、布局谋篇中起着决定作用。各章分工为：第 1 章，李萍萍，吴沿友，刘继展；第 2、3 章，付为国，李萍萍，卞新民；第 4 章，付为国，吴沿友，李萍萍；第 5 章，唐卫东，李萍萍，付为国；第 6 章，吴沿友，陆军，刘继展，李萍萍；第 7 章，刘继展，李萍萍。吴春笃同志在项目组织实施、学术成果的提炼等方面做了大量工作。此外，一些研究生和教师参与了部分实验和研究工作，他们是陈歆、曹秋玉、王纪章、郝建朝、阙小峰等。

滨江湿地系统极其复杂，需要从多方面进行更深入细致地研究。我们的研究成果仅起着抛砖引玉的作用，希望今后有更多的学者和专家对滨江湿地生态系统进行高水平的研究，推动滨江湿地的研究向更高层次进军。同时，由于著者学术水平有限、时间仓促，本书错误、不妥和疏漏之处在所难免，恳请读者不吝赐教。我们愿与国内外同行进行广泛的交流合作，推动生态学事业的发展。

著 者

2008 年 1 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 湿地的定义及分类	1
1.1.1 湿地的定义	1
1.1.2 湿地的分类	2
1.2 国内外湿地研究的现状	2
1.2.1 国外的研究现状	2
1.2.2 国内湿地的研究现状	4
1.3 滨江湿地特性——以镇江滨江湿地为例	7
1.3.1 滨江湿地的形成	7
1.3.2 滨江湿地的类型与分布	8
1.3.3 地理位置与气候特点	8
1.3.4 土壤状况	9
1.3.5 水文和水质状况	9
1.3.6 生物资源状况	10
1.3.7 生态环境状况	10
1.3.8 滨江湿地生态系统的脆弱性	11
1.4 滨江湿地的研究意义	12
参考文献	13
第 2 章 镇江滨江湿地植物群落演替规律	19
2.1 滨江湿地植物群落演替阶段的划分	19
2.2 演替进程中的群落物种多样性	21
2.2.1 不同演替阶段植物群落物种组成及其重要值	21
2.2.2 不同演替阶段物种的生活型结构特征	22
2.2.3 物种的科属组成	23
2.2.4 群落的 α 多样性变化	24
2.2.5 群落的 β 多样性分析	25
2.3 群落演替各阶段生态位的动态特征	26
2.3.1 生态位宽度	27
2.3.2 生态位重叠	29
2.4 植物群落演替进程中群落小气候的多样性	35
2.4.1 光照强度	36
2.4.2 空气温度	36
2.4.3 空气相对湿度	38

2.4.4 土壤温度的时空动态	38
2.4.5 不同阶段群落气候因子相关分析	39
参考文献	41
第3章 镇江滨江湿地优势植物的生长特性	44
3.1 优势植物的季节生长动态	44
3.1.1 优势种蔺草的季节生长动态研究	45
3.1.2 优势种芦苇季节生长动态研究	50
3.1.3 人工栽培芦苇的生长动态研究	54
3.1.4 芦苇和蔺草的适应进化对策	55
3.2 优势植物的光合特性	56
3.2.1 优势种蔺草光合特性研究	57
3.2.2 优势种芦苇光合特性研究	62
3.2.3 芦苇和蔺草光合特性的比较	66
参考文献	70
第4章 滨江湿地优势植物的种间关系	73
4.1 优势植物间竞争特性的研究	73
4.1.1 蔺草和芦苇竞争力的研究	74
4.1.2 种间竞争对蔺草形态及生理的效应	75
4.2 优势植物系统内的氧化酶与植物的竞争性	78
4.2.1 不同植被带土壤氧化酶的空间分布	78
4.2.2 不同优势植物多酚氧化酶、过氧化氢酶活性的年变化	79
参考文献	82
第5章 滨江湿地优势种芦苇的生长模拟模型	84
5.1 芦苇发育进程模型	84
5.2 芦苇的形态发生模型	86
5.2.1 茎秆生长动态模型	86
5.2.2 芦苇叶面积指数动态模型	88
5.3 芦苇的生理功能模型	89
5.3.1 芦苇的光合生产动态模型	89
5.3.2 芦苇的呼吸作用模型	91
5.3.3 芦苇的干物质积累模型	92
5.3.4 芦苇的干物质分配模型	93
5.4 基于芦苇形态结构的同化物再分配模型	98
5.4.1 植株模拟中的相关定义及假设	98
5.4.2 基于植株结构的同化物再分配模型	99
5.4.3 模型的验证	101
参考文献	104
第6章 滨江湿地生态系统的物质循环与能量流动	106
6.1 滨江湿地物质循环功能	106

6.1.1	北固山湿地土壤金属元素空间分布与变化	106
6.1.2	北固山湿地土壤水提液中阴离子空间分布与变化	111
6.1.3	北固山湿地土壤中的氮、磷时空分布特征	114
6.1.4	滨江湿地植物氮、磷积累能力的研究	117
6.1.5	北固山湿地生态系统中氮、磷分布的生态意义	119
6.2	滨江湿地的能量流动规律	120
6.2.1	滨江湿地能量流动过程	121
6.2.2	能量流动模型与分析	123
6.2.3	滨江湿地能量流动模型的生态意义	124
	参考文献	125
第7章	滨江湿地生态系统服务功能与价值评价	128
7.1	滨江湿地的生态服务功能	128
7.1.1	物质生产功能	128
7.1.2	景观娱乐休闲功能	128
7.1.3	降解污染和净化水质	132
7.1.4	大气组分与气候调节功能	133
7.1.5	生物多样性维持与生物栖息地功能	134
7.1.6	科研教育功能	134
7.2	镇江滨江湿地生态系统服务功能的价值核算	135
7.2.1	价值讨论	135
7.2.2	镇江滨江湿地生态服务的资源价值估算	137
7.2.3	镇江滨江湿地生态服务的环境价值估算	138
7.2.4	镇江滨江湿地生态服务的人文价值估算	141
7.2.5	镇江滨江湿地生态系统服务经济价值估算结果	143
7.2.6	镇江滨江湿地生态系统服务经济价值分析与评价	144
7.3	北固山湿地的生态修复与生态系统服务价值评估	148
7.3.1	北固山湿地生态系统服务功能的价值量与其前途抉择	148
7.3.2	北固山湿地生态修复的成本-收益分析	148
7.3.3	北固山湿地的生态修复与各项生态系统服务功能价值的变化	149
	参考文献	150

第 1 章 绪 论

湿地是介于水体和陆地两大系统之间,由二者相互作用形成的自然综合体,是生物多样性最丰富、生态功能最高的生态系统。然而,湿地曾被认为是地球的“麻风病”、“牛皮癣”,认识上的误区导致人们对湿地盲目无节制地开发利用。在遭到自然界一次又一次的报复后,湿地及其生态系统的重要性方才被人们所认识。如今湿地被赋予“生物超市”、“地球之肾”等美誉,关于湿地及其生态系统的研究受到国际社会的普遍重视^[1,2]。在世界自然资源保护联盟(International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN)、联合国环境规划署(UNEP)和世界自然基金会(WWF)编制的《世界自然保护大纲》中,湿地与森林、海洋一起并列为全球三大生态系统,其中淡水湿地更被当作濒危野生生物的最后集结地。

1.1 湿地的定义及分类

1.1.1 湿地的定义

由于湿地特征的多样性,迄今还没有一个全世界公认的统一的湿地定义及类型划分标准。各国以及各研究部门根据自己研究的需要及领域差异,进行了不同的定义,使得湿地定义多种多样,目前的定义约有 50 多种。与之相对应,湿地的分类方法及标准也各不相同。

1956 年美国鱼和野生动物管理局(U. S. Fish & Wildlife Service)出版了《39 号通告》,首次对湿地进行了定义:被间歇的或永久的浅水层所覆盖的低地。该定义强调了浅水覆盖在湿地形成中的主导作用,它不包括一些永久性的较深水位区域。1979 年加拿大的科学家 Zoltai 和 Tarnocai 提出了两个相似的定义,即湿地系水淹或地下水位接近地表以及浸润时间足够长,从而促进湿化和水成过程,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。1979 年美国鱼和野生动物管理局在一份题为《美国湿地和深水生境的分类》的报告中,又提出了一个更具综合性的湿地定义,即湿地是陆生系统和水生系统之间的过渡型土地,在这些土地上,水位经常在或接近地表,或为浅水所覆盖。并指出湿地必须有下述三个特征中的一个或一个以上:土地上至少周期性的生长着以水生植物为优势的植被;基质中以不透水的水成土壤占优势,基质非土壤,在生长季的某些时候被水所饱和或被浅水所覆盖。该定义并不强调湿地必须具备的三个传统条件,即水文、土壤和植被。

在我国被广泛接受的湿地定义有两个:《湿地公约》中的定义和《国际生物学计划》中的定义。《湿地公约》也称为《拉姆萨公约》(*Ramsar Convention*),它是在由国际自然与自然资源保护联合会于 1971 年在伊朗召开的拉姆萨会议上通过的。该公约将湿地定义为:不论其为天然或人工、长久性或短暂性的沼泽地、泥炭地或水域地带,带有或

静止，或流动，或为淡水、半咸水或咸水的水体，包括低潮时水深不超过 6m 的水域。该定义涵盖了湖泊、河沼泽、滩地、盐湖、盐沼以及海岸带区域的珊瑚滩、海草区、红树林和河口等类型。该定义是一种广泛的定义，也是国际公认的、具有高度科学性的定义。国际生物学计划（International Biological Programme）中定义湿地是陆地和水域之间的过渡区域或生态交错带（ecotone），由于土壤浸泡在水中，所以湿地特征植物得以生长。该定义强调湿地是生长有挺水植物的区域，是一种狭义的概念，将紧密联系的开阔水体和湿地分割开来，对于湿地的管理和保护有所不便，但为湿地生态系统结构、组成等方面的研究提供了一些方便。在以上两个定义的基础上，我国湿地主管部门——国家林业局在 1997 年对湿地进行定义，基本上采用《湿地公约》中的定义，将湿地定义为陆地上常年或季节性积水（水深 2m 以内，积水期 4 个月以上）和过湿的土地，并与其生长、栖息的生物种群构成的独特的生态系统。它强调构成湿地的三个要点：积水、过湿地及其生物群落。

1.1.2 湿地的分类

在美国鱼和野生动物管理局出版的《39 号通告》中，把湿地划分为四大类，即内陆淡水湿地、内陆咸水湿地、海岸淡水湿地和海岸咸水湿地，并按照水深和淹水频率进一步细分为 20 个湿地类型。另外，由 Dugan 于 20 世纪 90 年代初提出的，经《湿地公约》批准的分类系统也在国际上使用。该系统将湿地分为咸水湿地、淡水湿地和人工湿地三大类，并进一步细分为 27 类自然湿地和 8 类人工湿地。各国家（地区）可根据需要做必要和特定的修改，将各自特有的湿地包含在系统中。

中国湿地研究虽起步于 20 世纪 50 年代，直至 20 世纪 90 年代才完成全国湿地初步调查，不同类型的湿地生态系统研究比较薄弱，但是在某些领域上也取得了一定的研究成果。我国的地理学家对沼泽，特别是三江平原沼泽，进行过广泛深入的研究，并按照类、亚类和组进行了分类。另外，在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初对我国的海岸带和海涂资源进行了大规模的全面普查，提出了比较细致的海岸分类系统。但是，沼泽只是湿地的主要类型，海岸带也并非全都属于湿地。关于中国湿地的全面的类型划分，只有《亚洲湿地》和《中国湿地》两书参照美国 1979 年的湿地分类系统，对中国有关湿地的资料进行了整理，也只是中国湿地分类的初步尝试。中国湿地面积为 $0.66 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ，居世界第 4 位，占国土面积的 6.5%。在类型上，《湿地公约》中列出的 27 类自然湿地和 8 类人工湿地在我国均有分布，此外我国还拥有独特的青藏高原湿地，是亚洲湿地类型最齐全的国家之一。

1.2 国内外湿地研究的现状

1.2.1 国外的研究现状

国际上湿地的研究主要集中在以下几个方面：

1.2.1.1 湿地环境与水环境交互作用的研究

研究以湿地为纽带的整个海岸带生态系统的结构、功能和演化。Mazda 等^[3]研究了人类长期活动对海岸侵蚀的影响；Yang 等^[4]研究了河口在最大浑浊区的沉积过程，探讨了江滩的形成过程；Stoeck 等^[5]通过核酸和 ATP 来评价海岸生态系统的生产力。

1.2.1.2 湿地土壤沉（冲）积形成过程的研究

Austen^[6]研究了过去 50 年 Königshafen 湾的泥沙沉积变化和表面沉积物变迁，得出了潮湾带的沉积过程是稳定的结论。Joseph 和 Patchineelam^[7]利用²¹⁰Pb、²³⁴Th 和 Be 研究红树林生态系统的沉积物的混合和累积过程。研究表明，顺着陆地方向，沉积物的混合深度发生变化，淤泥带的沉积物混合深度大于 30cm，红树林区域沉积物的混合深度为 4cm。

1.2.1.3 海岸生态系统营养元素的运转、迁移过程和机制研究

Boulegue 等^[8]、Lacerda 等^[9,10]和 Chen 等^[11]研究了微量元素和污染物在海岸生态系统中的运转和迁移；Sobczak 等^[12]研究了有机质在河岸系统中的空间分布；Mañosa 等^[13]综述了农业和工业污染物对湿地生境和动植物的影响；Alongi 等^[14]研究了有机碳在热带、半封闭的三角洲中源库关系；Lacerda 等^[9]研究了微量元素在潮间带沉积物中的累积效应；Gerringa 等^[15]研究了微粒铜从河口到滩涂之间的分布；Marins 等^[16]、Lacerda 等^[17]研究了水、土与滩涂生态系统之间的汞的交换和作用；Ridd 等^[18]研究了水、盐和营养物质在热带盐滩中的交换过程。海岸生态系统的氮循环一直是国际上研究的热点，包括脱氮作用，氮在水-滩涂-陆地、水-生-滩、滩-生-陆等之间的界面交换和迁移^[19~23]。

1.2.1.4 湿地生物多样性研究以及生物种群结构变化机制研究

Kowalchuk 等^[24]研究了海岸沙丘中的微生物种群；Beukema 等^[25]研究了湿地生态系统中的三种环节动物的动态变化；Dittmann^[26]研究了潮间带扁形动物的时空分布；Agatz 等^[27]、Staats 等^[28]研究了湿地环境中硅藻种群的分布；Lim^[29]研究了盐度和沉积条件对滩涂生物 *Ilyoplax pusilla* 形态的影响；许多学者研究了湿地生态系统中生物种群之间的关系^[30~33]；湿地生态系统中的许多生物种群的长期变化和重新分配规律、制约因素也受到很多学者的关注^[34~43]。

1.2.1.5 农业生产活动对湿地功能的影响的研究

也有很多学者研究了农业生产活动对湿地功能的影响。Gerakis 和 Kalburtji^[44]研究了农业生产活动对邻近湿地的四大功能，包括营养物的除去和转化、沉积物的滞留、泄洪以及地下水补给的影响。同时他们也研究了农业生产活动对邻近的湿地的四大价值，即生物多样性、渔业、狩猎和娱乐价值的影响。研究表明，灌溉对湿地的功能和价值影响最大。Musacchio 和 Grant^[45]研究了土地使用的变化、水稻和畜牧业生产对湿地生境的影响，结果表明农民生产方式的改变影响了湿地的生境质量。

1.2.1.6 关于湿地生态系统的退化和恢复的研究

湿地退化是指因湿地生态特征的变化导致其生态过程及功能的削弱或失衡。湿地退化的原因主要有两个：一是自然变化，如植被演替、沉积作用等引起的湿地变化；二是人为作用，即由于人类盲目的生产活动和不合理的管理实践产生的湿地生态退化。湿地生态特征变化包括湿地面积变化、湿地水文条件改变、湿地水质变化、湿地资源的非持续利用以及外来物种的侵入等多种类型，都可导致湿地的退化和消失。

自从 20 世纪 90 年代以来，随着全球范围的生物多样性保护意识的增强，越来越多的基金资助濒危湿地的保护与恢复^[46]。国际上有关受损湿地植被恢复与重建的研究大量涌现，相关专著和专题论文集相继出版^[47~56]，掀起了研究湿地恢复的热潮。近年来，国际上形成了研究湿地恢复的两大中心：一是欧洲（含加拿大北部），主要以研究贫营养沼泽恢复为主^[57~62]；二是北美（含加拿大南部），主要以研究富营养沼泽为主^[63~66]。

1.2.2 国内湿地的研究现状

虽然国内湿地研究起步较晚，但发展较快，目前主要集中在以下几个方面：

1.2.2.1 滩涂湿地的资源、环境及演变等基础科学的研究

徐利森^[67]研究了海湾西岸典型的淤泥质岸滩中细砂质湿地土壤的水动力条件、冲淤变化及沉积特征，并对成因加以分析。杨世伦^[68]对长江三角洲湿地潮滩季节性冲淤循环的多因子进行了分析。李从先等^[69]研究了长江三角洲开敞型淤泥质海岸非河道潮汐纹层的沉积率。张文渊^[70]对滨海湿地盐碱土类型及其形成条件进行了较系统的分析，提出了旱、涝、盐、碱的综合治理方案和进一步改良利用的途径。王建等^[71]对江苏中部潮滩湿地 1 年 12 个月的沉积样品的孢粉类型和含量进行了分析，认为潮滩湿地沉积存在明显的季节性孢粉特征，可以利用孢粉指标来指示，判别潮滩沉积的季节性。朱玉荣^[72]用数值模拟方法，模拟了公元 8 世纪时苏北中部滨海平原潮汐、潮流的情形，表明辐射状潮流场与古黄河、长江带来的充足物源是苏北中部滨海平原形成的两个有利条件。李雪铭^[73]分析了冰后期以来北黄海淤泥质海岸变迁及海岸地貌的形成和滩涂湿地的自然分布带，讨论了北黄海淤泥质湿地的开发现状和存在的问题，提出了滩涂资源开发利用的模式。黄成和张健美^[74]对长江口北支湿地资源和环境现状进行了调查和研究。

1.2.2.2 湿地生态农业研究

仇荣亮等^[75]研究了海涂土壤在改土脱盐过程中土壤特性的变化。姚艳平和叶玫^[76]探讨了沿海滩涂土壤的形成及垦区土壤的养分变化，提出了快速改良滨海重盐土的有效途径。吴天飞^[77]研究了上海滩涂湿地的农业开发利用过程。肖宏儒等^[78]研究了沿海滩涂地区农业资源综合利用模式，提出了综合利用沿海滩涂地区农业资源的有效模式。沈永明和张忍顺^[79]分析了潮流、地形、季节风以及淤积总趋势等对坝田内淤积三角形的形态特征、形成原因、发展变化及淤积效率的影响。杨劲松等^[80]对江苏省沿海滩涂资源特征及土地资源利用特点进行了分析，并探讨了江苏省沿海滩涂土地资源的

优化配置和农业资源综合利用及开发的途径。张洪程等^[81]分析了长江下游湿地农业的现状与存在的主要问题,针对性地提出了该地区湿地农业发展的主要对策以及亟待研究解决的问题。

1.2.2.3 滩涂湿地开发的政治、经济政策与开发机制,及一体化的海岸带综合管理模式的研究

陆国庆和高飞^[82]综述了沿海滩涂资源开发利用的情况;朱明君^[83]分析了滩涂资源可持续利用的优势、制约因素和存在的问题,提出了滩涂资源可持续利用的战略思想、发展对策与措施。王资生等^[84]通过对盐城滩涂湿地资源现状及开发利用的调查,分析了盐城滩涂湿地的土地资源、水产资源、农业资源、盐业资源、港口资源、旅游资源的现状及开发前景,并对盐城滩涂湿地不同地域的资源特征进行了评价,针对目前盐城滩涂湿地开发利用的现状,提出了可持续利用的对策。张文开^[85]分析了福建省潮间带滩涂湿地资源的分布和组成物质特征、滩涂围垦的可行性等,提出了滩涂湿地资源开发和管理等方面的见解。王晓东等^[86]从土地资源,生物资源和淡水资源等角度探讨了滩涂湿地的开发模式,剖析了滩涂湿地的内在功能评价指标以及外在经济评价指标。凌申^[87]分析了江苏东部沿海滩涂湿地的生态特点,研究了滩涂湿地生产经济系统的结构,指出了沿海滩涂湿地开发存在的问题,提出建设江苏东部沿海滩涂湿地生态经济的思考。何小勤和顾成军^[88]分析了崇明滩涂湿地的作用和围垦状况,提出了崇明湿地的保护管理措施。庄大昌等^[89]根据我国湿地生态旅游资源的现状和特点,指出了我国湿地生态旅游资源开发中存在的问题,提出了相应的开发利用对策。王丽学等^[90]也对湿地保护的意義及我国湿地退化的原因与对策进行了研究。

1.2.2.4 湿地生物多样性的保护、恢复与自然保护区的建立与管理

李少梅等^[91]研究了北戴河沿海滩涂湿地及鸟类资源保护的狀況。邹发生等^[92]对海南东寨港红树林滩涂湿地大型底栖动物多样性进行了初步研究。柯欣等^[93]应用物种丰富度、个体数多度、多样性指数和均匀度4个群落参数对上海浦东湿地土壤中的中型土壤动物进行了调查和研究。徐海根等^[94]对我国丹顶鹤自然保护区进行了网络设计,提出了丹顶鹤自然保护区网络设计方案。叶勇等^[95]从红树植物及与之密切相关的底栖动物的多样性恢复出发,分析了当前我国红树林恢复存在的主要问题。李祖伟等^[96]对盐城国家级自然保护区湿地资源调查与保护进行了研究,提出了盐城湿地资源可持续利用和保护的对策。我国的湿地恢复研究主要集中在湖泊和滩涂,但工作比较零星^[97~99]。

1.2.2.5 湿地开发与资源、环境保护相互均衡机制研究

黄静伟和洪家珍^[100]研究了厦门港滩涂及海域沉积物中污染物磷与铁的关系。郝彤琦等^[101]研究了湿地土壤与植物根系复合体的抗剪强度。沈新民和张振声^[102]对崇明的湿地利用与环境问题进行了研究。葛向东和刘青松^[103]研究了长江口海岸带环境及管理问题。曹慧等^[104]研究了长江三角洲地区土壤质量退化的类型、驱动力与对策;王永红等^[105]对潮滩沉积物重金属累积的特征进行了研究。曹希强等^[106]对我国潮滩湿地环境

的研究进行了展望,提出了我国当前潮滩环境研究应解决的问题,并提出了解决对策。王军等^[107]建立了长江口滨岸湿地环境信息系统,分析了长江口滨岸湿地 2002 年重金属和持久性有机污染物的空间分布特征,并对长江口滨岸湿地 2003 年的环境质量进行了系统评价。

1.2.2.6 湿地的生态、经济和社会效益评估

陈平^[108]对江苏海涂围垦进行了最优决策。张明祥和严承高^[109]在深入分析湿地效益的形成和类型的基础上,提出了湿地效益存在的特征,以促进湿地环境保护和湿地资源的可持续发展。周琐栓等^[110]研究了江苏沿海滩涂开发利用对气候的可能影响。万树文等^[111]在用能值分析对盐城自然保护区两种人工湿地研究的基础上,对其可持续发展提出了建议。朱洪光等^[112]也对江苏海涂两种水生利用模式的能值进行了分析和评价。戴天放^[113]论述了鄱阳湖湿地资源可持续发展的制度创新,提出了解决鄱阳湖湿地问题必须进行制度创新的思想。刘兆普等^[114]对海涂人工湿地不同利用方式的能值特征与生态效应进行了分析。庄大昌^[115]对洞庭湖湿地生态系统服务功能价值进行了评估。崔丽娟^[116]也对鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值进行了评估研究。崔丽娟和赵欣胜^[117]还应用奥德姆(H. T. Odum)创立的生态经济系统能值分析理论,定量分析了鄱阳湖湿地生态系统内的物流和能流,结果表明鄱阳湖湿地在保护水禽方面的作用是不可替代的,在长江流域内有着非常重要的生态功能。

1.2.2.7 关于湿地植被的研究

对于湿地生态系统,植被扮演着重要的角色。作为生产者,它具有能量固定、转化和贮存以及调节区域环境的功能,是维持生态平衡的杠杆;相对无机环境而言,它是生命物质;而对于动物和人类而言,它又是一个环境要素。可见,植被具有双重功能。因此,湿地植被成为研究湿地的重要内容之一。目前,我国湿地植被研究主要包括以下几个方面:①湿地植被类型和多样性研究,主要是对不同区域、不同湿地类型下的植被组成、群落特征及其资源保护进行研究^[118~129]。②湿地植被演替和种群动态研究。严国安^[130]通过对武汉东湖水生植物群落 30 年的调查,得出了该群落的演替系列;任长久等^[131]运用生态位理论解释了群落演替现象;李英年^[129]通过对祁连山高寒湿地的气候变化和植被演替的研究,揭示了湿地群落变化的特征;倪志英等^[132]研究了黑龙江东部山地湿地的植被,发现了群落演替的三个阶段特征;葛继稳等^[133]通过对湖北梁子湖水生植物 45 年的调查,发现其水生群落经历了“恢复-旺盛顶起-急剧衰退-逐步恢复”的过程。汲玉河等^[134]研究了三江平原毛果藁草的群落特征,结果发现,水量减少是导致毛果藁群落衰退的主要原因;在环境因子对湿地植被影响方面,李英年等^[129]研究了气温升高和降水减少对祁连山高山湿地植被演替的影响;余国营等^[135]研究发现滇池水体污染导致水生植物的退化演替;汤梦玲等^[136]研究表明,西北地区湿地植被受水位下降、土壤盐分增加的影响,正在向旱生和盐生植被演替。③受损湿地的恢复与重建。罗新正等^[137]在大安古河道湿地,通过采取恢复湿地地表径流、扩大湿地面积,降低土壤盐分等措施,增加了湿地的生物种类,提高了物种的多样性;阳承胜等^[138]对韶关凡口铅锌矿废水中的植被群落研究发现,湿地耐性植物的拓殖能力和环境胁迫的缓和是该区植

被迅速恢复的主要原因；陈芳清和 Hartman^[139]研究了美国的 Hackensak 湿地保护区，认为稳定湿地面积、重建湿地复合景观、丰富生物多样性、恢复潮水正常规律、减少水体污染、控制外来种的入侵和扩张、促进湿地原有植被的定居、扩增及恢复是湿地恢复的关键；王圣瑞等^[140]研究阐述了植物在人工湿地中的作用和选择人工湿地植物的一些原则。

1.3 滨江湿地特性——以镇江滨江湿地为例

1.3.1 滨江湿地的形成

长江在地球自转偏向力的作用下，形成横向环流，河床左右摆动，形成曲流。由于长江中下游地势低平，江流速度减缓，加上海潮顶托，使长江携带泥沙的能力大为减弱，造成长江中下游河段的河床泥沙沉积旺盛，形成边滩、心滩等一系列沙洲，进一步发育成滨江湿地。

镇江境内有规模的滨江湿地有世业洲、征润洲、和畅洲、高桥洲、太平洲、丹徒沙、人民沙等大小洲滩十几个。历史上长江镇江段的河床和主泓道发生过几次大的南北往复摆动，江岸往往呈不稳定状态，下游河床的变化受上游河床变化的影响。6000 年前第四纪海侵最盛时，长江入海口在镇江、扬州一带形成了喇叭状河口，长江每年携带 4 亿吨泥沙在此入海，并在河口堆积起来，逐渐形成了长江三角洲。由于长江下游河床泥沙的不断沉积，江中形成了沙滩，以后，随着长江泥沙的不断沉积，江中沙滩增多，长江口逐渐东移。清康熙以后，长江主洪开始北移，江流直冲瓜洲，瓜洲一带崩岸，镇江沿岸沉积加剧，形成大面积的沙滩，长江南岸迅速淤涨^[141]。

1840 年前后，征润洲、青沙洲、定叶洲、蒲业洲等大大小小的江心洲与边滩相互连接，并与长江南岸相连，形成了大型边滩——征润洲，并不断向下游发展。民国以来，镇江发生了 9 次大洪水，每次洪水都给征润洲沙滩的扩大提供了大量泥沙。

洪水的强烈冲刷使长江北岸严重崩塌，六圩至都天庙一带的江岸崩退约 3.5km。征润洲迅速扩大，并形成了羽状复式沙嘴。1971 年征润洲已向东扩大到焦山尾部，1992 年其洲尾已延伸到丹徒镇以东，且芦滩现在仍继续扩大。据统计，1871~1992 年的 120 年间，征润洲向北淤涨了 3.5km，向东延伸了 14km，面积约 35km²。征润洲沙滩包围了镇江长江内江水域，使长江内江与主洪道隔开，形成了“河成湖”。因该湖位于镇江市北部，故又称之为“北湖”。内江现面积约 880hm²，呈牛轭状，是镇江最大的城市水体，金山、焦山、北固山三山（“三山”为国家重点风景名胜区）呈品字形分布于内江中和江畔。内江上游通过引航道与长江相通，下游在焦山东侧与长江汇聚，镇江城市水系均借助内江与长江相通。

长江上游水流和下游潮水涌入内江时，携带的大量泥沙沉积于内江岸边，终使洲滩常年出露，特别在 1986 年镇江港中口袋方案实施后，更加快了大东滩的淤积。1991 年滩面高程达 3m 以上，形成与市区相连的 27hm²的江滩湿地，即镇江北固山湿地。

1.3.2 滨江湿地的类型与分布

长江上游的泥沙淤积造陆是长江下游地区的普遍特征，长江带来的大量泥沙在下游江湾或河口淤积形成大量的边滩和沙洲，如南京的江心洲与八卦洲、镇江扬中、征润洲、启东长江口北支湿地等。事实上，广袤的长江三角洲平原就是千百万年来由长江夹杂的大量泥沙冲积而成的。长期以来，长江滨江的边滩、沙洲等被大量开发为林地和耕地，只有安庆沿江湿地、长江口湿地等得到保护和研究。

镇江典型的滨江湿地是环绕内江分布的象山、北固和征润洲等湿地（图 1-1），具有一定的代表性。北固湿地面积约 27hm²，位于城区一侧北固山脚下，由于城市污水排放和人为破坏，受损和退化严重，该湿地目前以芦苇和蔺草为优势种；征润洲湿地为自然形成的芦滩湿地，其面积达 2670hm²；象山湿地位于镇江东郊，总面积约 174hm²，由于人工种植，柳树成为其优势种（表 1-1）。

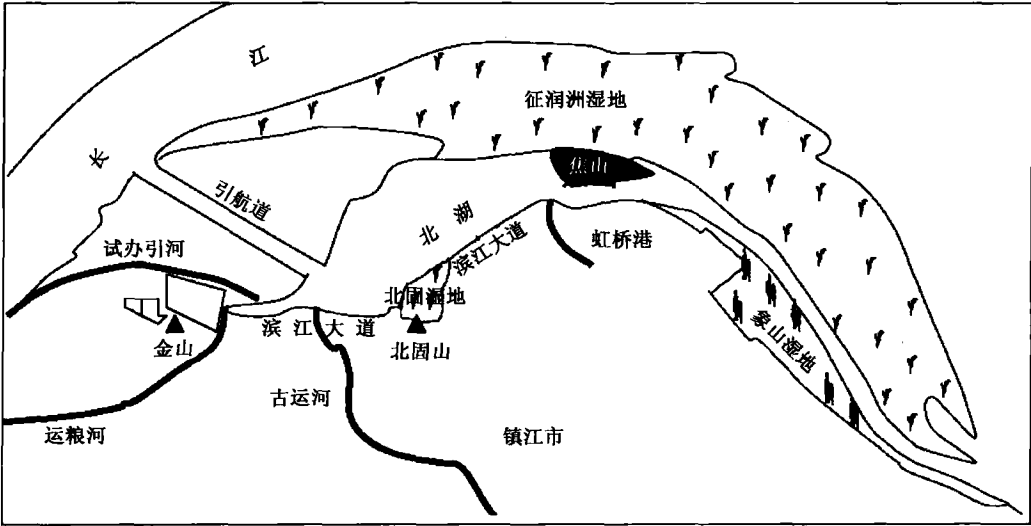


图 1-1 镇江典型滨江湿地

表 1-1 镇江主要滨江湿地概况

湿地	面积/hm ²	优势群落
征润洲湿地	2460	芦苇-荻草群落
北固湿地	27	芦苇-蔺草群落
象山湿地	174	柳树-芦苇群落

1.3.3 地理位置与气候特点

滨江湿地所在区域属由暖温带向北亚热带过渡的季风气候，受季风影响，四季分明，气候温暖湿润。

多年镇江气象资料显示,镇江滨江湿地年平均气温 15.4℃,其中,最低气温在 1 月,极限为-12℃(1969 年 2 月 5 日);最高气温在 7 月,极限为 40.9℃(1959 年 8 月 3 日);7~8 月为高温季节,月平均气温 28.1℃;1~2 月为低温季节,月平均气温 2℃。全年无霜期 250d 左右,≥10℃的有效积温在 5000~6500℃。

年平均降水约 1074.0mm,年最大降水量 1801.1mm,月最大降水量 262.5mm(1972 年 7 月 3 日),全年雨时 46d 左右(以大于 10mm 降水计),最多雷暴日数 37d,多集中于 7~9 月,降水量总量占全年的 20%~50%;年最大积雪深度 14cm,最大冻结深度 9cm;年平均蒸发量 1276.7mm,年最大蒸发量 1755.9mm,年最小蒸发量 847mm;年平均相对湿度 76%。

年最大风速 16 m·s⁻¹,平均风速 3.4 m·s⁻¹。夏季主要风向为东风和东南风,冬天为东北风。

1.3.4 土壤状况

滨江湿地土壤主要为非地带性的淤积潮土,潮滩底质为软相沉积物,沉积物类型多为黏土质粉沙与粉沙,其次有沙质粉沙、粉沙质沙及细沙。由于潮滩的地貌部位和动力条件的差异,潮滩沉积物具有明显的沉积分带现象,滩地高程愈高,物质越细,反之则越粗。

1.3.5 水文和水质状况

滨江湿地的水体一方面与长江相通,另一方面与当地的其它水体也有着广泛的联系。镇江的内江具有滨江水体的代表性特征。

内江为镇江市的主要受纳水体,镇江城市水系的运粮河、虹桥港和古运河均与之相连,并通过引航道、焦南闸与长江相通。长江上游的流水及下游的潮水与内江交换频繁,年交换多达 100 次以上。区域内丰水期一般出现在 7、8、9 月份,水位可能高达 6~7m(黄海高程),平水期一般出现在 5、10、11 月份,水位可能达到 4~5m,枯水期一般出现在 1、2、3、4、12 月份,水位在 4m 以下。由于镇江境内长江段为长江的感潮河段,潮汐性质属非正规半日浅海潮,每天潮涨潮落两次,涨潮时间 3h,落潮 9h,平均潮差为 96cm,最大潮差为 233cm。

镇江城市主要水体污染物转移所依托的城市水系均要经过内江与长江相联通,城市水系带来的污染物和内江周围的点源、面源污染物大量积聚内江。据统计^[142]镇江市年工业废水排放量近 1×10⁸t,农药超过 3000t(市区超过 500t),化肥近 90 000t(市区近 25 000t),工业废弃物达 400×10⁴t,大部分未经处理的工业废水、30%~40%(目前镇江城市污水截流 60%~70%)的生活污水和 70%左右的雨水(面源污染)都需要通过内江,大大超过了内江的生态承受能力,对内江及长江的水质造成了严重威胁。加之航道污染和渔业污染,致使内江水体污染严重。另外,江底淤泥常年沉积,据防洪堤地质勘探资料和对江滩淤泥的初步研究,内江淤泥深度在 1~3m,淤泥中积累了大量的营养物质,受污染的底泥对营养盐和其他污染物有明显的富集作用。当内江底层氧化还