

环渤海三角洲湿地的景观 生态学研究

肖笃宁 胡远满 李秀珍 等著

2001

内 容 简 介

本书全面论述了辽河三角洲和黄河三角洲湿地景观的基本特征,包括资源动态、形成演化、景观结构、生态过程以及开发利用方面的经验、建议与区域可持续发展,重点在于滨海湿地的生态功能与环境效应,对湿地生物多样性保护、湿地净化功能、湿地水文效应与湿地温室气体排放作了深入的阐述,在大量野外观测和实验数据的支持下,建立了景观尺度的过程模型。同时,本书还紧密联系区域开发的实践,高度重视人为活动对湿地的影响。针对生产中存在的突出矛盾,提出了解决的对策,体现了理论和实践的结合。

本书可供有关大专院校、科研单位,国土、环境、资源开发、农业、水利、海岸带管理等有关部门的工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

环渤海三角洲湿地的景观生态学研究/肖笃宁等著. —北京:科学出版社,2001

ISBN 7-03-009702-5

I. 环… II. 肖… III. 三角洲,环渤海—沼泽化地—景观—生态学—研究 IV. Q178.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 054343 号

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>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2001 年 8 月第一次印刷 印张:27 1/2 插页:2

印数:1—8 000 字数:618 000

定价: 69.00 元

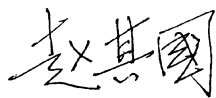
(如有印装质量问题,我社负责调换(杨中))

序 言

《环渤海三角洲湿地的景观生态学研究》是一本具有学科性与区域性特色的专著。景观生态学是地理学与生态学之间的交叉学科,主要是研究景观空间结构与形态特征对人类活动的影响,为景观与区域尺度上可更新自然资源的开发与环境管理服务。过去对这方面曾有过不少研究,但结合区域特点,特别是针对湿地发育与开发利用,阐明景观生态的结构、功能与规律的研究尚不多见。这次研究成果,必将对环渤海三角洲的资源利用、环境整治起重要的指导与推动作用。

三角洲位于河流入海的河口地区,是海洋过程与河流过程间复杂交互作用的产物。我国东部的三个三角洲,即黄河三角洲、长江三角洲及珠江三角洲,均是大河入海在海岸带形成的著名三角洲,它们在我国的经济建设中具有极其重要的地位。环渤海湿地是黄河三角洲的组成部分,不过它还包括了北部辽东湾三角洲的湿地一部分。这一地区主要是在河流因素、海洋因素及气候构造因素等共同作用下形成,由于长期以来受河流沉积与泛滥影响,因而出现较大面积的湿地。这种湿地的形成与发育过程,是环渤海三角洲地带特殊的景观与生态过程长期作用的结果。因此,本书通过湿地景观与生态过程的研究,进一步阐明了该区的生物多样性,土壤养分状况,湿地全球环境变化及生态系统评价等问题,这对整个地区湿地景观生态理论的发展及其应用有重要意义,并对整个地区的可持续发展,提供了重要的科学依据。

本专著是多年来,集中多学科、多单位共同研究完成的集体成果。中国科学院沈阳应用生态研究所在主持这项研究工作中,精心组织安排,取得了突出成绩。本书由十六章组成,内容丰富、结构完整、图文并茂、思路创新,是一本学术水平较高、并能联系区域实际应用的优秀学术专著,可供教学与生产部门参考。



2001年5月10日

前 言

景观生态学是地理学与生态学之间的一门交叉学科,它重点研究景观的空间结构与形态特征对生物与人类活动的影响,为景观和区域尺度上可更新自然资源的开发与环境管理服务。自20世纪80年代后期景观生态学被介绍到中国以来,各方面的研究工作已取得长足进展;在国家自然科学基金的支持下有60余项课题已经完成,特别是1997年地球科学部地理学科组首次批准将景观生态学研究列入到重点项目,项目名称为“环渤海三角洲湿地资源动态、景观结构及区域可持续发展”,项目主持单位是中国科学院沈阳应用生态研究所。经过4年的艰苦工作,该项目在湿地景观结构与生态功能,区域开发对湿地的影响,湿地保护、利用的景观规划等方面取得了一批创新性的重要成果,本书即是该项目成果的集中反映。全书16章分为三个部分;第一至三章论述三角洲湿地的资源与景观,第四至十章分别论述了湿地生态功能与环境效应,第十一至十二章论述了人为活动对湿地的影响,第十三至十六章论述了湿地保护和合理利用。各章既独立论述某一主题,相互之间又有紧密联系,形成本书兼具学科性与区域性的特色。

由于三角洲生态环境的敏感性与经济地位的重要性,本书所研究的环渤海三角洲已成为区域地理学和区域生态学的研究热点,前人的研究成果为我们的工作提供了基础。本书以三角洲的湿地资源和景观为对象,以湿地生态过程与环境效应为中心,包括湿地的水文调节功能、净化功能、生物多样性保护及滨海湿地对全球变化的响应等方面内容;从资源与生态相结合的角度,从景观和区域尺度研究湿地,注重空间格局对生态过程的影响;从区域湿地系统整体性出发,将人地关系、持续发展与全球变化三者紧密结合,突出人类活动对湿地资源与环境的影响及其调控对策的研究;从湿地的保护与利用出发,研究三角洲区域的可持续发展。可以说,本书是运用景观生态学的理论与方法,从一个全新的视角对区域地理与资源开发所进行的系统性研究,为建立有中国特色的景观生态学体系做出了自己的贡献。希望本书的出版能为不同专业的读者提供一些有用的信息和进一步的思考。

本书执笔人为:吕宪国、刘红玉(第一章),杨永兴(第二章),王宪礼、布仁仓、肖笃宁(第三章),胡远满(第四章),肖笃宁、裴铁凡、赵羿(第五章),李秀珍、肖笃宁(第六章),李秀珍(第七章),李秀珍、肖笃宁(第八章),黄国宏(第九章),韩慕康、刘岳峰(第十章),肖笃宁、郭洪海(第十一章),肖笃宁、穆从如(第十二章),许学工、付在毅、林辉平(第十三章),李晓文、肖笃宁(第十四章),辛琨、肖笃宁(第十五章),许学工(第十六章)。全书由肖笃宁统稿。参加课题研究的还有刘兴土、曲向荣、朱清海、刘振乾、崔保山、王连平、李月辉、李团胜、曹宇等人。本书的编辑和整理过程中生态学杂志的刘国光编审做出了重要贡献,王连平也为本书的出版做了大量细致的工作,谨此向他们表示诚挚的谢意。作为项目主持人,我还要在此向支持和协助本项研究工作的双台子河口国家自然保护区、黄河口国家自然保护区等有关单位和人员表示深深的谢意!

回顾笔者从事景观生态学研究以来所走过的艰辛历程,从组织队伍,人才培养,主持国际会议,开拓交流渠道,由小到大,从面上基金到重点基金项目,可谓之探索前进,一步一个脚印。在环渤海三角洲地区历经三个基金项目的 10 年工作,方获此初步成果,深感知识创新之艰巨。愿以此为新的起点,向更高的科学目标攀登,不断深化已有认识,拓展研究领域,进一步推动中国景观生态学的健康发展,为国民经济建设和社会发展提供更好的服务。

肖笃宁

2001 年 3 月 9 日

目 录

序 言 前 言

第一章 环渤海三角洲湿地类型和资源	(1)
1.1 湿地分布概况	(2)
1.2 湿地类型划分	(2)
1.2.1 湿地分类研究与湿地分类的一般原则	(2)
1.2.2 研究区的湿地分类方案	(3)
1.3 湿地资源及其评价	(4)
1.3.1 三角洲湿地资源的重要地位	(4)
1.3.2 湿地资源现状与类型的多样性	(5)
1.3.3 湿地水文条件的差异	(6)
1.3.4 湿地生产力的差异	(7)
1.3.5 湿地动态消长特征的差异	(7)
1.3.6 湿地在生物多样性保护中的地位	(8)
1.4 湿地资源的动态变化及其对湿地生态功能的影响	(9)
1.4.1 河流三角洲湿地生态功能	(9)
1.4.2 湿地动态变化对湿地生态功能的影响	(10)
第二章 环渤海三角洲湿地的形成、发育	(13)
2.1 湿地形成、发育的影响因素	(13)
2.1.1 湿地形成、发育的自然影响因素	(13)
2.1.2 湿地形成、发育的人为影响因素	(15)
2.2 湿地的形成过程	(16)
2.2.1 水体湿地化的概念和必要条件	(16)
2.2.2 滨海湿地化	(17)
2.2.3 三角洲内部浅水体(湖泊、水库和池塘)湿地化	(17)
2.2.4 河流湿地化	(19)
2.2.5 陆地湿地化	(19)
2.2.6 湿地形成模式的区域分异	(20)
2.3 湿地发育过程	(21)
2.3.1 辽河三角洲湿地发育	(21)
2.3.2 黄河三角洲湿地发育	(24)
2.4 湿地形成、发育的机制	(31)
2.4.1 湿地长期保持富营养阶段的形成机制	(31)
2.4.2 制约湿地发育过程模式的机制	(32)
2.4.3 影响湿地发育的人为因素	(34)

第三章 三角洲湿地景观结构	(36)
3.1 湿地景观类型的划分	(36)
3.1.1 景观分异的原因	(36)
3.1.2 三角洲湿地景观的系统分类方法和指标	(37)
3.1.3 三角洲湿地的景观分类系统	(38)
3.1.4 湿地的景观类型系统	(41)
3.2 景观格局分析	(44)
3.2.1 景观结构的研究方法	(44)
3.2.2 景观格局指数	(47)
3.2.3 辽河三角洲景观格局分析	(49)
3.2.4 黄河三角洲景观格局分析	(52)
3.3 景观破碎化分析	(54)
3.3.1 景观破碎化指数	(54)
3.3.2 破碎化分析	(57)
3.4 景观廊道分析	(58)
3.4.1 廊道类型划分	(58)
3.4.2 廊道的判定	(59)
3.4.3 廊道的功能	(60)
3.4.4 廊道系统	(60)
3.4.5 辽河三角洲景观廊道结构分析	(61)
3.4.6 辽河三角洲景观廊道功能分析	(63)
3.5 景观尺度变换分析——以黄河三角洲为例	(64)
3.5.1 尺度对斑块的影响	(65)
3.5.2 尺度对景观面积的影响	(68)
3.5.3 尺度对景观多样性的影响	(69)
3.5.4 最佳尺度的选择	(70)
3.6 景观变化分析	(72)
3.6.1 辽河三角洲湿地的景观变化	(72)
3.6.2 黄河三角洲湿地的景观变化	(73)
第四章 湿地的生物多样性及水禽生境	(77)
4.1 三角洲湿地的生物多样性概况	(77)
4.1.1 物种多样性	(77)
4.1.2 景观多样性	(78)
4.2 湿地植物群落	(80)
4.2.1 湿地植物群落类型	(80)
4.2.2 植物群落生境	(82)
4.2.3 植物群落演替	(83)
4.3 鸟类物种	(84)
4.3.1 鸟类物种的科属组成	(84)

4.3.2	鸟类物种的地理成分	(85)
4.3.3	三角洲水禽的种类组成	(85)
4.4	野生动物的生境分类	(86)
4.4.1	生境与生境因子	(86)
4.4.2	野生动物生境因子的分级分类	(88)
4.4.3	辽河三角洲湿地水禽的生境类型	(92)
4.5	辽河三角洲主要水禽的生境	(95)
4.5.1	丹顶鹤的生境研究	(95)
4.5.2	黑嘴鸥的生境研究	(99)
4.5.3	白鹤的生境研究	(101)
4.5.4	白鹳的生境研究	(103)
4.5.5	雁鸭类的生境研究	(104)
4.5.6	鸕鹚类的生境研究	(105)
4.6	辽河三角洲水禽生境的破碎化	(106)
4.6.1	丹顶鹤生境的破碎化	(107)
4.6.2	黑嘴鸥生境的破碎化	(109)
4.6.3	白鹤迁徙停歇地生境的破碎化	(110)
4.6.4	白鹳迁徙停歇地生境的破碎化	(111)
4.6.5	雁鸭类生境的破碎化	(112)
4.6.6	鸕鹚类生境的破碎化	(113)
4.7	辽河三角洲湿地水禽生境的调整与管理	(114)
4.7.1	功能区划分	(114)
4.7.2	生境类型调整	(116)
第五章	三角洲湿地水文调节	(117)
5.1	自然湿地的水循环特征	(117)
5.1.1	辽河三角洲湿地水量平衡	(117)
5.1.2	辽河三角洲水资源概算与湿地蓄水容量	(120)
5.1.3	辽河三角洲湿地水更新率	(121)
5.1.4	黄河三角洲湿地水循环特征	(124)
5.2	人工湿地的水文调节	(128)
5.2.1	平原水库蓄水功能	(129)
5.2.2	稻田水量平衡	(131)
5.2.3	灌溉渠系的蓄水及防洪效益	(135)
5.3	现有水利设施的防洪效益	(136)
5.3.1	洪水成因及特征	(136)
5.3.2	洪涝灾害和经济损失	(137)
5.3.3	辽河三角洲湿地的水文地质特征与地下含水层的调洪功能	(139)
5.3.4	湿地防洪功能分区	(140)
5.3.5	洪水对于湿地形成的动力作用	(142)

第六章	苇田湿地土壤养分循环	(143)
6.1	辽河三角洲的土壤	(143)
6.1.1	土壤形成特点	(143)
6.1.2	辽河三角洲土壤的分类与分布	(144)
6.2	苇田土壤特征与养分状况	(148)
6.2.1	土壤质地	(148)
6.2.2	土壤盐分特性	(148)
6.2.3	土壤养分状况	(149)
6.3	苇田养分生物循环	(149)
6.3.1	苇田养分生物循环的指标及其计算方法	(149)
6.3.2	辽河三角洲的苇田养分循环	(150)
6.4	苇田管理与产量	(151)
第七章	辽河三角洲湿地氮、磷去除效应模型	(153)
7.1	模型研究的目的与意义	(153)
7.2	模型初始化:数据源与分析模型	(154)
7.2.1	数据源	(154)
7.2.2	与模型有关的主要地物和实体	(155)
7.2.3	基本分析模型	(157)
7.2.4	适用于全模型的假设条件	(159)
7.3	以野外数据为基础的模拟模型	(161)
7.3.1	灌渠子系统的非线性回归模型	(161)
7.3.2	苇田子系统非线性和线性模拟模型	(162)
7.3.3	整个灌区的总体模型	(164)
7.3.4	以非线性模型为基础的养分去除总量估计	(167)
7.3.5	以野外观测数据为主的模型验证	(170)
7.4	以文献数据为基础的模拟模型	(171)
7.4.1	Mander 和 Mairing 的回归模型	(171)
7.4.2	对 Mander 和 Mairing 模型的验证	(174)
7.5	模型的应用	(175)
7.5.1	氮磷总量平衡估算	(175)
7.5.2	10年间辽河三角洲湿地养分去除量的变化	(176)
7.5.3	湿地养分去除量的上限估算	(176)
第八章	景观空间格局对湿地养分去除功能的影响	(178)
8.1	研究意义与模型假设	(178)
8.2	研究方法	(178)
8.2.1	灌渠密度	(179)
8.2.2	苇田面积大小	(180)
8.2.3	苇田面积缩减格局	(180)
8.2.4	泵站分布位置	(181)

8.3	研究结果	(182)
8.3.1	不同灌渠密度的影响	(182)
8.3.2	总输入负荷不变时,苇田面积大小对养分去除效果的影响	(184)
8.3.3	总输入负荷减小时,苇田面积大小对去除量的影响	(185)
8.3.4	不同苇田格局的影响	(187)
8.3.5	不同泵站位置对养分去除的影响	(188)
8.4	模拟分析	(189)
第九章	湿地温室气体排放	(193)
9.1	湿地对温室气体 CH_4 排放的贡献	(193)
9.1.1	国内外研究现状	(194)
9.1.2	湿地对 CH_4 排放的贡献	(194)
9.2	中国芦苇湿地 CH_4 排放	(196)
9.2.1	芦苇湿地 CH_4 排放的季节变化	(196)
9.2.2	芦苇植株与环境因子对 CH_4 排放的影响	(197)
9.3	中国芦苇湿地 N_2O 排放	(201)
9.3.1	芦苇地 N_2O 排放季节变化	(201)
9.3.2	芦苇植株对 N_2O 的传输作用	(203)
9.4	CH_4 和 N_2O 排放量估算	(203)
9.5	土地利用变化对温室气体排放的影响	(204)
9.5.1	芦苇改种水稻后的 CH_4 和 N_2O 通量	(204)
9.5.2	土地利用变化对 CH_4 和 N_2O 排放的影响及总量估算	(205)
9.5.3	调控对策	(205)
第十章	海平面上升对环渤海湿地的影响	(207)
10.1	温室效应、全球变暖与海平面上升问题	(207)
10.2	海平面上升的类型、原因以及在中国的表现与危害	(209)
10.2.1	全球性的、绝对的海平面上升	(210)
10.2.2	地区性的、相对的海平面上升	(212)
10.2.3	中国沿海海平面上升情景与危害	(213)
10.2.4	辽河、黄河两大三角洲区海平面上升情景及其影响因素分析	(215)
10.3	环渤海海平面上升对辽河、黄河三角洲湿地的影响	(220)
10.3.1	直接淹没大片湿地地区	(220)
10.3.2	加剧湿地的侵蚀后退	(225)
10.3.3	咸水入侵,扩散污染,恶化环境	(230)
10.3.4	风暴潮与洪涝灾害加剧	(231)
10.4	环渤海湿地保护对策	(232)
10.4.1	增强对防灾与湿地生态环境保护意义的认识	(232)
10.4.2	积极研究对策、措施	(233)
第十一章	农业开发对湿地的影响	(236)

11.1	区域农业开发简况	(236)
11.1.1	辽河三角洲的农业开发	(236)
11.1.2	黄河三角洲的农业开发	(237)
11.1.3	人工湿地的形成和新湿地景观	(238)
11.2	稻田开发对湿地生态环境的影响	(239)
11.2.1	土壤脱盐与潜水淡化	(239)
11.2.2	稻田土壤养分变化及对地下水的影响	(243)
11.3	水稻田盐分预测预报模型	(245)
11.3.1	土壤盐分动态集成预报模型的数学描述	(246)
11.3.2	水稻田盐分预测预报模型的参数及检验	(248)
11.3.3	集成预报模型的单点模拟与区域预测	(250)
11.4	生态农业技术的典型模式	(255)
11.4.1	以发展水生饲料为中心的生态养殖模式	(255)
11.4.2	稻-萍-蟹立体农业模式	(257)
第十二章	油田开发对湿地的影响	(259)
12.1	环渤海三角洲油气藏分布及开发概况	(259)
12.2	石油工业开发的环境污染途径分析	(260)
12.3	油田开发对三角洲湿地环境的影响	(261)
12.3.1	石油工业的三废排放	(261)
12.3.2	油田开发对浅海滩涂环境的影响	(265)
12.3.3	油田开发对土壤-植物系统的影响	(267)
12.4	黄河三角洲湿地的水体质量与水质污染状况	(269)
12.5	辽河三角洲湿地的水体质量与水质污染状况	(271)
12.5.1	地表水环境	(271)
12.5.2	水库水质	(272)
12.5.3	潮下带海水水质	(273)
12.6	加强油田管理,保护湿地资源	(274)
第十三章	湿地区域生态风险评价	(275)
13.1	区域生态风险评价的理论与方法	(275)
13.1.1	从环境影响评价到生态风险评价	(275)
13.1.2	生态风险评价的特点与内容	(275)
13.1.3	区域生态风险评价	(278)
13.2	辽河三角洲湿地区域生态风险评价	(282)
13.2.1	研究区的界定	(282)
13.2.2	风险受体分析	(282)
13.2.3	风险源分析	(283)
13.2.4	暴露和危害分析	(285)
13.2.5	区域生态风险综合评价	(288)
13.2.6	区域风险管理对策	(290)

13.3	黄河三角洲湿地区域生态风险评价	(292)
13.3.1	研究区的界定	(292)
13.3.2	风险受体分析	(292)
13.3.3	风险源分析	(293)
13.3.4	暴露和危害分析	(294)
13.3.5	区域生态风险综合评价	(296)
13.3.6	区域风险管理对策	(298)
第十四章	湿地管理与景观生态规划	(301)
14.1	湿地保护与管理策略：湿地生境更新与调整	(301)
14.1.1	生境更新	(301)
14.1.2	生境调整	(302)
14.1.3	生境更新与调整及各自适用性	(303)
14.1.4	生境更新的途径与方法	(304)
14.1.5	生境调整的途径与方法	(305)
14.1.6	生境更新、调整与生境管理	(305)
14.2	预案研究方法及景观生态决策与评价支持系统	(306)
14.2.1	“预案”与预案研究	(306)
14.2.2	预案评价工具——景观生态决策与评价支持系统	(308)
14.3	数据资料处理及辽河三角洲景观规划的预案设计	(314)
14.3.1	数据资料来源及其处理	(314)
14.3.2	预案设计的限制因子及有关假设	(319)
14.3.3	预案设计	(321)
14.3.4	LEDESS 模型知识库系统的构建	(326)
14.4	各预案生态后果空间模拟	(333)
14.4.1	生态后果空间模拟方法	(333)
14.4.2	实施措施及其空间定位	(334)
14.4.3	自然生态单元与地表覆盖物的变化	(337)
14.4.4	生境适宜性的变化	(340)
14.4.5	指示物种繁殖生境的生态承载力	(347)
14.5	区域生态经济效应的空间分析	(354)
14.5.1	区域生态经济效益评价指标的建立	(354)
14.5.2	结果与分析	(355)
14.6	预案研究结果及其讨论	(359)
14.6.1	各预案的总体评价及相关结论	(359)
14.6.2	预案研究结果对区域生物保护与资源开发的启示	(362)
14.6.3	关于预案研究方法和 LEDESS 模型	(366)
第十五章	生态系统服务价值评估	(368)
15.1	盘锦地区生态系统服务功能分析	(369)
15.2	盘锦地区生态系统服务功能价值估算	(370)

15.2.1	物质生产功能	(370)
15.2.2	大气组分调节功能	(372)
15.2.3	水分调节	(377)
15.2.4	净化功能	(380)
15.2.5	提供栖息地功能	(383)
15.2.6	文化科研功能	(386)
15.2.7	美学(旅游)价值	(386)
15.3	统计与分析	(388)
第十六章	区域可持续发展的模式选择	(390)
16.1	自然环境的对比	(390)
16.2	开发历史的对比	(392)
16.3	经济社会发展状况的对比	(393)
16.3.1	土地利用结构的对比	(393)
16.3.2	产业结构的对比	(394)
16.3.3	社会发展状况的对比	(398)
16.4	发展趋势与限制因素的对比	(399)
16.4.1	石油、天然气生产发展趋势	(399)
16.4.2	粮食和芦苇生产发展趋势	(400)
16.4.3	水资源短缺的趋势	(401)
16.4.4	自然保护区面临的问题和发展趋势	(403)
16.4.5	主要制约因素	(404)
16.5	区域可持续发展的模式选择	(404)
16.5.1	水土整治模式	(404)
16.5.2	结构调整模式	(405)
16.5.3	生态农业模式	(406)
16.5.4	环境保护和优化模式	(406)
主要参考文献	(408)
图版		

Contents

Foreword

Preface

Chapter 1. Types and resources of deltaic wetlands around Bohai Sea	(1)
1.1 The distribution of wetlands	(2)
1.2 Classification of wetlands	(2)
1.2.1 The principles of wetland classification	(2)
1.2.2 The scheme for wetland classification	(3)
1.3 Wetland resource and assessment	(4)
1.3.1 The importance of deltaic wetland resource	(4)
1.3.2 The diversity of wetland resources	(5)
1.3.3 The difference of hydrological conditions	(6)
1.3.4 The difference of wetland productivity	(7)
1.3.5 The difference of wetland area dynamics	(7)
1.3.6 The importance of wetlands in biodiversity conservation	(8)
1.4 Wetland resource dynamics and the effect on wetland functions	(9)
1.4.1 Ecological functions of estuary wetland	(9)
1.4.2 The effect of wetland dynamics on wetland functions	(10)
Chapter 2. The formation and development of deltaic wetlands around Bohai Sea ...	(13)
2.1 The factors affecting the formation and development of wetlands	(13)
2.1.1 Natural factors affecting the formation and development of wetlands	(13)
2.1.2 Human factors affecting the formation and development of wetlands	(15)
2.2 The formation of wetlands	(16)
2.2.1 Concepts and prerequisites for water body wetlandnization	(16)
2.2.2 Littoral wetlandnization	(17)
2.2.3 Shallow water wetlandnization within the deltas	(17)
2.2.4 Riparian wetlandnization	(19)
2.2.5 Terrestrial wetlandnization	(19)
2.2.6 Regional difference of wetland formation	(20)
2.3 The development of deltaic wetlands	(21)
2.3.1 The development of Liaohe River Delta	(21)
2.3.2 The development of Yellow River Delta	(24)
2.4 The mechanism of wetland development	(31)
2.4.1 The mechanism of long term maintenance of eutrophication in the wetlands	(31)
2.4.2 The factors restricting the formation of wetlands	(32)
2.4.3 The human factors affecting wetland devlopment	(34)
Chapter 3. Landscape structure of deltaic wetlands	(36)

3.1	Landscape classification	(36)
3.1.1	Factors for landscape differentiation	(36)
3.1.2	Systematic classification and indicators for deltaic wetland landscape	(37)
3.1.3	Landscape classification system for deltaic wetlands	(38)
3.1.4	Landscape classes of wetlands	(41)
3.2	Landscape pattern analysis	(44)
3.2.1	Methods for landscape structure analysis	(44)
3.2.2	Landscape pattern indices	(47)
3.2.3	Landscape pattern analysis for the Liaohe River Delta	(49)
3.2.4	Landscape pattern analysis for the Yellow River Delta	(52)
3.3	Landscape fragmentation analysis	(54)
3.3.1	Indices for landscape fragmentation	(54)
3.3.2	Fragmentation analysis	(57)
3.4	Landscape corridor analysis	(58)
3.4.1	Classification of corridors	(58)
3.4.2	Delineation of corridors	(59)
3.4.3	Corridor functions	(60)
3.4.4	Corridor systems	(60)
3.4.5	Corridor structure analysis for the Liaohe River Delta	(61)
3.4.6	Corridor function analysis for the landscape of Liaohe River Delta	(63)
3.5	Scale analysis	(64)
3.5.1	The effect of scale on patches	(65)
3.5.2	The effect of scale on landscape area	(68)
3.5.3	The effect of scale on landscape diversity	(69)
3.5.4	The optimal scale selection	(70)
3.6	Landscape change analysis	(72)
3.6.1	Landscape change in the Liaohe River Delta	(72)
3.6.2	Landscape change in the Yellow River Delta	(73)
Chapter 4. Wetland biodiversity and waterfowl habitats		(77)
4.1	Biodiversity in the deltaic wetlands around Bohai Sea	(77)
4.1.1	Species diversity	(77)
4.1.2	Landscape diversity	(78)
4.2	Wetland vegetation community	(80)
4.2.1	Types of wetland vegetation community	(80)
4.2.2	Habitats in vegetation community	(82)
4.2.3	Succession of vegetation community	(83)
4.3	Bird species	(84)
4.3.1	The family and genus composition of bird species	(84)
4.3.2	The geographical composition of bird species	(85)

4.3.3	Waterfowl species in the deltas	(85)
4.4	Habitat classification for wild animals	(86)
4.4.1	Habitat and habitat factors	(86)
4.4.2	Hierarchical classification of habitat factors for wild animals	(88)
4.4.3	Habitat types for waterfowls in the Liaohe River Delta	(92)
4.5	Habitats for main waterfowl species in the Liaohe River Delta	(95)
4.5.1	Habitat for red-crowned crane (<i>Grus japonensis</i>)	(95)
4.5.2	Habitat for black-billed gull (<i>Larus saundersii</i>)	(99)
4.5.3	Habitat for white crane (<i>Grus leucogeranus</i>)	(101)
4.5.4	Habitat for white stork (<i>Ciconia boyciana</i>)	(103)
4.5.5	Habitat for wild goose and anatation species	(104)
4.5.6	Habitat for plover and snipe species	(105)
4.6	Fragmentation of habitats for waterfowl species	(106)
4.6.1	Habitat fragmentation of red-crowned crane	(107)
4.6.2	Habitat fragmentation of black-billed gull	(109)
4.6.3	Migration habitat fragmentation of white crane	(110)
4.6.4	Migration habitat fragmentation of white stork	(111)
4.6.5	Habitat fragmentation of wild goose and anatine species	(112)
4.6.6	Habitat fragmentation of plover and snipe species	(113)
4.7	Habitat adjustment and management for waterfowl species in the wetland of Liaohe River Delta	(114)
4.7.1	Partition of function areas	(114)
4.7.2	Adjustment of habitat types	(116)
Chapter 5. Hydrological adjustment of deltaic wetlands		(117)
5.1	Hydrological circulation of natural wetlands	(117)
5.1.1	Water balance in the wetland of Liaohe River Delta	(117)
5.1.2	Water resource and capacity estimation in the Liaohe River Delta	(120)
5.1.3	Water replacement rate in the Liaohe River Delta	(121)
5.1.4	Hydrological circulation in the wetland of Yellow River Delta	(124)
5.2	Hydrological adjustment of artificial wetlands	(128)
5.2.1	Water capacity of plain reservoirs	(129)
5.2.2	Water balance in the paddy fields	(131)
5.2.3	The benefit of water storage and flooding control from canals	(135)
5.3	The benefit of flooding control from current irrigation works	(136)
5.3.1	Causing factors and characteristics of flooding in the Liaohe River Delta	(136)
5.3.2	Flooding hazards and economical loss	(137)
5.3.3	Hydro-geological characteristics and flooding regulation function of underground aquifer	(139)
5.3.4	Partition of wetland flooding control area	(140)

5.3.5	The effect of flooding on wetland formation	(142)
-------	---	-------

Chapter 6.	Nutrient circulation in the reed bed soils	(143)
-------------------	---	-------

6.1	Soil types in the Liaohe River Delta	(143)
6.1.1	Characteristics of soil formation	(143)
6.1.2	Soil types and distribution in the Liaohe River Delta	(144)
6.2	Characters and nutrient status of reed bed soil	(148)
6.2.1	Soil texture	(148)
6.2.2	Soil salt	(148)
6.2.3	Soil nutrient	(149)
6.3	Biological nutrient circulation in the reed field	(149)
6.3.1	Indices and calculation methods for biological nutrient circulation in the reed fields	(149)
6.3.2	Nutrient circulation in the reed field of Liaohe River Delta	(150)
6.4	Management and productivity in the reed fields	(151)

Chapter 7.	Spatial modeling on the nutrient reduction in the Liaohe River Delta	(153)
-------------------	---	-------

7.1	Introduction	(153)
7.2	Model initialization; data sources and analytical models	(154)
7.2.1	Data sources	(154)
7.2.2	Main features and objects related to the model	(155)
7.2.3	Primary analytical models	(157)
7.2.4	Hypothesis applicable to the whole model	(159)
7.3	Simulation model based on field data	(161)
7.3.1	Non-linear spatial model for the canal system	(161)
7.3.2	Non-linear and linear model for the reed system	(162)
7.3.3	Total model for the whole irrigation area	(164)
7.3.4	Nutrient reduction estimation based on non-linear simulation model	(167)
7.3.5	Model verification for the field data based model	(170)
7.4	Simulation model based on literature data	(171)
7.4.1	Mander-&-Mauring regression model	(171)
7.4.2	Verification for Mander-&-Mauring model	(174)
7.5	Application of the model	(175)
7.5.1	General balance for nitrogen and phosphorous	(175)
7.5.2	Nutrient reduction change within 10 years in the Liaohe River Delta	(176)
7.5.3	The potential ability of nutrient reduction in the wetlands	(176)

Chapter 8.	The effect of landscape pattern on nutrient reduction in the wetland	(178)
-------------------	---	-------

8.1	Introduction and hypothesis	(178)
8.2	Methods	(178)
8.2.1	Canal density	(179)
8.2.2	Reed area size	(180)
8.2.3	Reed area shrinking pattern	(180)

8.2.4	Pumping station position	(181)
8.3	Results	(182)
8.3.1	The effect of canal density	(182)
8.3.2	The effect of reed area size when total input load stable	(184)
8.3.3	The effect of reed area size when input load per unit area stable	(185)
8.3.4	The effect of reed area distribution pattern	(187)
8.3.5	The effect of pumping station position	(188)
8.4	Discussion	(189)
Chapter 9. Greenhouse gas emission		(193)
9.1	The contribution of wetland to greenhouse gas CH_4	(193)
9.1.1	Introduction	(194)
9.1.2	The contribution of wetland to CH_4 emission	(194)
9.2	CH_4 emission in Chinese wetlands	(196)
9.2.1	Seasonal dynamics of CH_4 emission in reed marsh	(196)
9.2.2	The effect of reed plant and environmental factors on CH_4 emission	(197)
9.3	N_2O in Chinese wetlands	(201)
9.3.1	Seasonal dynamics of N_2O in the reed fields	(201)
9.3.2	The transference of reed plant for N_2O	(203)
9.4	Estimation of CH_4 and N_2O emission	(203)
9.5	The effect of land use change on greenhouse gas emission	(204)
9.5.1	The emission rate of CH_4 and N_2O after land conversion from reed to paddy	(204)
9.5.2	The effect of land use change on CH_4 and N_2O emission rate and total emission estimation	(205)
9.5.3	Regulation strategies	(205)
Chapter 10. The effect of sea level rising on the wetlands around Bohai Sea		(207)
10.1	Green house effect, global warming and sea level rising	(207)
10.2	The types, factors and behavior of sea level rising in China	(209)
10.2.1	The global absolute sea level rising	(210)
10.2.2	The regional relative sea level rising	(212)
10.2.3	The scene and harm of sea level rising along the coast of china	(213)
10.2.4	The sea level rising in the Liaohe and Yellow River deltas	(215)
10.3	The effect of sea level rising around Bohai sea on the Liaohe and Yellow River deltas	(220)
10.3.1	The loss caused by direct inundation	(220)
10.3.2	The accelerated wetland recession	(225)
10.3.3	Salty water intrusion and pollution spread	(230)
10.3.4	Storm tide and aggravated hazards	(231)
10.4	Wetland protection around Bohai Sea	(232)

10.4.1	More emphasize on hazards prevention and environment protection	(232)
10.4.2	More study on strategies and measures	(233)

Chapter 11. The effect of agricultural exploration on wetlands (236)

11.1	The agricultural exploration in the study area	(236)
11.1.1	Agricultural exploration in the Liaohe River Delta	(236)
11.1.2	Agricultural exploration in the Yellow River Delta	(237)
11.1.3	The formation of artificial wetlands and new wetland landscape	(238)
11.2	The effect of paddy field reclamation on the wetlands	(239)
11.2.1	Soil desalting and groundwater desalination	(239)
11.2.2	Paddy soil nutrition change and its effect on groundwater	(243)
11.3	The prediction model of paddy soil salt content	(245)
11.3.1	Mathematical model for dynamical soil salt prediction	(246)
11.3.2	Parameters and verification of salt prediction model for the paddy field	(248)
11.3.3	Aggregated single point simulation and regional prediction	(250)
11.4	Typical models of eco-farming technology	(255)
11.4.1	Ecological breeding ponds for aqua-feedstuff	(255)
11.4.2	Vertical farming with rice, duckweed and crabs	(257)

Chapter 12. The effect of oil exploration on wetlands (259)

12.1	The distribution of oil and gas layers around Bohai Sea	(259)
12.2	The pollution caused by oil exploration	(260)
12.3	The effect of oil exploration on the wetlands in the deltas	(261)
12.3.1	Waste pollutants from oil industry	(261)
12.3.2	The effect of oil exploration on shallow water beach	(265)
12.3.3	The effect of oil exploration on soil-plant system	(267)
12.4	The water quality and water pollution in the Yellow River Delta	(269)
12.5	The water quality and water pollution in the Liaohe River Delta	(271)
12.5.1	Surface water quality	(271)
12.5.2	Reservoir water quality	(272)
12.5.3	Sea water quality in the lower tidal belt	(273)
12.6	Management of the oil field for wetland resource protection	(274)

Chapter 13. Regional ecological risk assessment (275)

13.1	Theory and methods for regional ecological risk assessment	(275)
13.1.1	Environment effect assessment and ecological risk assessment	(275)
13.1.2	Characters and contents of ecological risk assessment	(275)
13.1.3	Regional ecological risk assessment	(278)
13.2	Regional ecological risk assessment in the wetland of Liaohe River Delta	(282)
13.2.1	The delineation of study area	(282)
13.2.2	Risk receptor assessment	(282)
13.2.3	Risk source assessment	(283)

13.2.4	Exposure and hazard assessment	(285)
13.2.5	Global assessment on the regional ecological risks	(288)
13.2.6	Regional risk management strategies	(290)
13.3	Regional ecological risk assessment in the wetland of Yellow Delta	(292)
13.3.1	The delineation of study area	(292)
13.3.2	Risk receptor assessment	(292)
13.3.3	Risk source assessment	(293)
13.3.4	Exposure and hazard assessment	(294)
13.3.5	Global assessment on the regional ecological risks	(296)
13.3.6	Regional risk management strategies	(298)
Chapter 14.	Wetland management and landscape ecological planning	(301)
14.1	Wetland protection and management ;Habitat renewal and mitigation	(301)
14.1.1	Habitat renewal	(301)
14.1.2	Habitat mitigation	(302)
14.1.3	The application of habitat renewal and habitat mitigation strategies	(303)
14.1.4	The way of habitat renewal	(304)
14.1.5	The way of habitat mitigation	(305)
14.1.6	Habitat renewal, mitigation and management	(305)
14.2	Scenarios study and LEDESS model	(306)
14.2.1	“Scenarios” and scenarios study	(306)
14.2.2	A tool for scenarios study: LEDESS MODEL	(308)
14.3	Data analysis and scenarios designing for the landscape of Liaohe River Delta	(314)
14.3.1	Data sources and its analysis	(314)
14.3.2	Limitation factors and hypothesis	(319)
14.3.3	Scenarios designing	(321)
14.3.4	Knowledge system for LEDESS model	(326)
14.4	Spatial simulation for the ecological consequences of different scenarios	(333)
14.4.1	Spatial simulation methods for different ecological consequences	(333)
14.4.2	Strategies and spatial positioning	(334)
14.4.3	Natural ecological units and land cover change	(337)
14.4.4	Habitat suitability change	(340)
14.4.5	Ecological capacity for the breeding habitats of indicator species	(347)
14.5	Spatial analysis on regional ecological and economical effect	(354)
14.5.1	Indicators for regional eco-economical benefit assessment	(354)
14.5.2	Results and analysis	(355)
14.6	Scenarios study results and discussion	(359)
14.6.1	General evaluation for different scenarios and conclusions	(359)
14.6.2	The indicative value of scenarios study results for regional bio-protection and resource	

exploration	(362)
14.6.3 Scenarios study and LEDESS model	(366)
Chapter 15. Evaluation on ecological service function in the Liaohe River Delta	(368)
15.1 Ecosystem service function analysis in the Panjin region	(369)
15.2 Ecosystem service value assessment in the Panjin region	(370)
15.2.1 Material production	(370)
15.2.2 Atmosphere component regulation	(372)
15.2.3 Hydrological regulation	(377)
15.2.4 Purification function	(380)
15.2.5 Habitat function	(383)
15.2.6 Educational and scientific research function	(386)
15.2.7 Aesthetic(tourism)function	(386)
15.3 Statistics and analysis	(388)
Chapter 16. Optional models for regional sustainable development; the Liaohe and Yellow River deltas	(390)
16.1 Comparison of natural environment	(390)
16.2 Comparison of reclamation history	(392)
16.3 Comparison of social-economical development	(393)
16.3.1 Comparison of landuse structure	(393)
16.3.2 Comparison of industrial structure	(394)
16.3.3 Comparison of social development	(398)
16.4 Comparison of development trend and limitation factors	(399)
16.4.1 The development trend of oil and gas industry	(399)
16.4.2 The development trend of grain and reed production	(400)
16.4.3 The development trend of water resource shortage	(401)
16.4.4 The problems and development trend of natural reserves	(403)
16.4.5 Main limitation factors	(404)
16.5 Optional models for regional sustainable development	(404)
16.5.1 Water and soil harness model	(404)
16.5.2 Structure adjustment model	(405)
16.5.3 Eco-farming models	(406)
16.5.4 Environment protection and optimization	(406)
References	(408)

Plates

第一章 环渤海三角洲湿地类型和资源

环渤海三角洲地区位于东经 $117^{\circ}31'$ ~ $123^{\circ}31'$, 北纬 $36^{\circ}55'$ ~ $41^{\circ}27'$ 之间。该区主要包括黄河、辽河、滦河、大凌河等三角洲, 而以辽河三角洲和黄河三角洲为主。有海岸线 350km, 是我国滨海湿地和滩涂分布最集中的地理区域。属于暖温带大陆性半湿润季风气候, 年均气温 $8.3\sim 12.4^{\circ}\text{C}$ 。年平均降水量为 $611.6\sim 640.0\text{mm}$, 降水年内分配不均且蒸发量大, 常有旱、涝、风、霜、雹和风暴潮等自然灾害, 是风暴潮的多发区。环渤海地区是中国北部沿海的黄金海岸, 优越的地理位置, 丰富的自然资源, 发达的交通网络, 以及强大的工农业基础, 使该区在对外开放和沿海发展战略中占有重要地位。

海岸带主要为冲积海积平原海岸和三角洲海岸, 滩涂以沙质和泥质为主, 滩涂面积为 $4.01\times 10^5\text{hm}^2$; 潮下带 ($0\sim 6\text{m}$) 比较宽广, 面积约为 $1.19\times 10^6\text{hm}^2$, 占滨海湿地面积的 63.6%。沼泽以平原草本沼泽为主, 其中大于 $1\ 000\text{hm}^2$ 的沼泽面积为 $3.56\times 10^5\text{hm}^2$ (宋德人, 李颖等, 1995)。丰富的湿地资源是该区自然资源的主要组成部分, 它们构成了该区经济发展的有利条件和基础。随着经济的发展, 必然对该区产生深刻的影响。

黄河三角洲位于山东省鲁北平原东缘, 山东省的东北部。以垦利县宁海为顶点, 扇弧状伸入渤海湾与莱州湾之间。其西界自宁海向 NNW 至套儿河口, 其南界自宁海向 SE 至淄脉沟口, 向海抵达特大高潮线。从行政区域上除西北一隅属沾化县外, 其余均属东营市, 地理位置为东经 $118^{\circ}5'$ ~ $119^{\circ}15'$, 北纬 $37^{\circ}15'$ ~ $38^{\circ}15'$ 。总面积 $5.83\times 10^3\text{km}^2$, 其中位于 1855 年岸线之外的近代三角洲平原总面积 3 000 余平方公里。它是我国第三大河口三角洲, 为我国重要湿地分布区之一。

黄河三角洲的定界分为以下三种: 黄河自远古至 1855 年改道大清河入海以前形成的三角洲, 为古代三角洲。自 1855 年黄河改道山东大清河入海, 至 1934 年黄河分流点下移垦利渔洼之前形成的三角洲, 称为近代黄河三角洲。1934 年至今形成的三角洲称为现代三角洲。现代黄河三角洲以东营市垦利县宁海镇为顶点, 扇形突入渤海湾与莱州湾之间, 其西界自宁海向 NNW 至套儿河口, 其南界自宁海向 SE 至淄脉沟, 90% 以上属于东营市。该市现辖 5 个县区, 59 个乡镇。1994 年总人口达 162.11 万人, 非农业人口增长迅速, 1992 年以来农业人口呈下降趋势。该区经济呈现持续、快速、健康发展的势头, 正逐步由石油工业为主导的二元经济向多元经济过渡, 即进入以能源、化工为主导, 农业为基础, 各产业并驾齐驱的多元经济发展阶段。

辽河三角洲位于辽宁省西南部辽河平原南端, 是由辽河、大辽河、大凌河等冲积而成的冲积海积平原组成, 包括盘锦市和营口市及其老边区的全部, 盘锦市是其主体和核心, 包括 4 个县区, 27 个国营农林牧场, 4 个国营苇场, 12 个乡镇。地理位置在东经 $121^{\circ}25'$ ~ $122^{\circ}55'$, 北纬 $40^{\circ}40'$ ~ $41^{\circ}25'$, 总面积 $4\ 000\text{km}^2$, 为中国第四大三角洲。1992 年以来人口总数达到 108.4 万人。农业人口占 53.2%, 属于农业、油气、港口全方位综合开发型。工业上逐步形成“油气头、化工身、轻纺尾”的工业结构新格局, 农业、石油工业、浅海养殖业、芦苇种植业等均有广泛的发展前景。

为了研究的方便,本项目以东营市代表黄河三角洲,盘锦市代表辽河三角洲,以遥感和 GIS 技术为手段,对该区湿地的形成、分布、资源现状及动态变化进行分析,并从区域环境总体出发,开展资源开发与自然环境协调发展研究,探讨自然环境对资源开发利用的制约,资源开发利用对自然环境的影响,寻求两者协调发展的途径,对制定该区经济建设与环境建设总体规划,对工业、交通、农林牧副渔的合理布局,对国土整治与景观生态的保护均具有重要意义。

1.1 湿地分布概况

黄河三角洲和辽河三角洲是环渤海地区最大的两个三角洲,由于该区独特的自然地理位置和气候特征,使该区拥有丰富的湿地资源,平坦的地形,海陆交界的湿生环境、不稳定的气候和水文以及多风暴潮的海洋活动,促进了多种多样的湿地类型在低平洼地地区的广泛发育,如图版 1 和图版 2 所示。

黄河三角洲湿地主要分布于临海区域,以滩涂湿地为主,分布于三角洲扇型边缘地带,形成一个宽广的扇带。其他类型湿地面积较小,主要分布在古河道、河漫滩、洼地和阶地上,其中以水库、坑塘占优势。该区河流、沟渠纵横交织,形成明显的网状结构;其他湿地组分呈斑块状分布于三角洲中。

辽河三角洲湿地主要分布于辽东湾北岸,集中于大凌河与大辽河之间,以芦苇沼泽和稻田为主。此外在大凌河河口、双台子河与大辽河河口之间主要分布虾蟹池、滩涂及河口水域等湿地类型,湿地分布比较零散,景观结构复杂多样;沟渠纵横交织,呈网状结构;其他湿地组分呈斑块状分布(图版 1 和图版 2)。

1.2 湿地类型划分

1.2.1 湿地分类研究与湿地分类的一般原则

目前,湿地分类尚无一个统一标准,由于各个国家和地区国情不同,湿地研究目的和角度不同,因此世界各国的湿地分类系统多种多样。

20 世纪初,美国最早的湿地分类是 Davis(1907)提出的按水文特征进行分类,将湿地分成地下水补给沼泽、雨水补给沼泽和过渡型沼泽三组,三组之下再分若干湿地类型。50 年代,美国渔业和野生生物局为了查清湿地作为野生生物栖息地的主要意义和分布面积,提出新的湿地分类系统,将全国湿地分成四类:内陆淡水区域、内陆咸水区域、滨海淡水区域和滨海咸水区域,再根据水深、淹水频率及植被状况进一步划分 20 个湿地基本类型(Mitsch and Gosselink, 1986)。1974 年,美国渔业和野生生物局为了开展全国湿地编目,由 Cowardin 等提出一个综合的三级湿地分类系统。第一级根据相似的水文地貌和生物特征分五个湿地系:滨海湿地(Marine)、河口湿地(Estuarine)、河流湿地(Riverine)、湖泊湿地(Lacustrine)和沼泽湿地(Palustrine)。系之下再根据水文特征差异进一步划分 10 个亚系。第二级根据湿地底质组成、淹覆状态或植被外貌划分 56 个湿地类。如水生生物湿地(Aquatic Bed)、礁石类湿地(Reef)等。第三级根据优势植物来区分命名,是分类系统的基

本单位(赵魁义,刘兴土,1995)。1990年在 Ramsar 公约国第四届成员国大会上,制定了 Ramsar 湿地分类系统,是目前公认的国际湿地分类系统。

中国湿地分类亦没有统一的标准。黄锡畴(1980)曾根据我国沼泽特点和自然分异分类原则将沼泽分为平原沼泽、山地沼泽和高原沼泽。《中国沼泽》以发生学为分类原则,将沼泽划分为富营养、中营养和贫营养三大类,再根据建群植物生态型和植物群落划分沼泽组和沼泽体。陆健健(1990)在《中国湿地》中按 Ramsar 公约湿地定义将中国湿地分为 22 种类型。季中淳(1991)根据水源补给、地貌类型、水动力条件与优势生物群落,将我国海岸湿地划分三个类和 12 个湿地自然与人工综合体:潮上带湿地(芦苇沼泽、盐田湿地、草甸湿地等),潮间带湿地(底栖硅藻滩涂湿地、草滩滩涂湿地、红树林滩涂湿地、海草滩涂湿地)和潮下带湿地(海草沼泽、微型藻类湿地)。

1.2.2 研究区的湿地分类方案

纵观国内外湿地分类方法,分类原则存在很大差异,主要以水文条件和优势植物群落分异规律进行分类,并以小尺度研究居多。本研究的区域范围较小,研究的内容是河流三角洲湿地,因此其分类的原则和方法与上述不同。在借鉴国内外湿地分类研究基础上,根据河流三角洲的特点采取以下分类方法。

河流三角洲地带为海陆交界、淡咸水交汇区,受海洋和陆地交互作用,复杂动力机制造就了复杂多样的湿地类型和生态环境(任美镔,1990)。由于三角洲地带地势低平,易发洪涝,河道变动剧烈而频繁,因而湿地广泛分布。三角洲地带人类生产活动活跃,对自然

表 1-1 三角洲湿地分类系统

一级分类	二级分类	三级分类	界定标准
自然 湿 地	河流湿地	河流	淡水水域,潮流界以上
		古河道及河口湖	淡水水域,牛轭湖、河口湖等
	河口湿地	潮间带河口水域	淡、咸水交汇,潮流界至河口口门
	草甸湿地	潮上带重盐碱化湿地	碱蓬、翅碱蓬、荒盐碱地等
		湿草甸	獐茅、白茅等
	沼泽湿地	芦苇沼泽	芦苇地
		其他沼泽	香蒲沼泽为主
	疏林湿地	低平地人工林	垂柳、旱柳、杞柳、刺槐林等
	灌丛湿地	灌丛	柳滩等
	人工 湿 地	滨海湿地	潮下带浅海水域
滩涂湿地			潮间带
水库与水工建筑		水渠水库	运河、灌渠等
		坑塘	水库鱼塘、积水土坑等
人工盐沼		虾、蟹池 盐池	多分布于滨海滩涂
稻田湿地	水稻田	水稻田	

环境的干扰深刻。本研究以湿地形成动力因子为主导,综合考虑湿地的水文、生态及植物优势群落等要素,坚持科学、实用的原则将湿地划分为三级系统。第一级为天然湿地和人工湿地两大类。天然湿地指景观中诸要素包括生物和非生物要素没有受到或受人类活动干扰很小,景观中的能流和物质流动关系仍属自然生态系统,或人类只是从某种程度上对天然生态系统加以改造和管理,而没有改变其系统类型和景观类型,这样的湿地为自然湿地类型,如人工管理的苇田等。人工湿地是指受到人类活动强烈干扰的景观。在人工湿地景观中,许多景观要素被人为改变,由人控制形成了新的不同生态系统,人类需向该系统中投入大量能量并从中取出产品,如水田、水库等。第二级按湿地水文状况(积水状况)和景观类型划分。第三级形成综合分类系统(表 1-1)。

1.3 湿地资源及其评价

1.3.1 三角洲湿地资源的重要地位

在国内外众多的河流三角洲中,国外的密西西比河三角洲、尼罗河三角洲、莱茵河三角洲、湄公河三角洲以及国内的长江三角洲、珠江三角洲、黄河三角洲和辽河三角洲等最为著名。总的来说,三角洲一般都具有优越的区位、丰富的水资源、油气资源、港口资源和多样的湿地资源等多方面的有利条件。同时,由于三角洲地处海陆交界的河口地区,具有内连江河流域腹地、对外连通海外诸域,成为经济与工农业生产发达、人口城镇密集以及众多产业分布的积聚地域。在人类的长期作用下,多数三角洲已开发成为国家或地区具有一定经济实力的区域。辽河三角洲和黄河三角洲是我国四大三角洲之一。目前,辽河三角洲已开发成为以农业、石油工业为主的综合型区域,黄河三角洲开发成为以石油、天然气为主的全方位开发型区域。它们在国家及区域经济发展中占据十分重要的地位。

从三角洲土地类型构成看,湿地在三角洲形成及经济发展中的地位非常重要。利用遥感和地理信息系统技术对该区研究的结果显示:黄河三角洲(东营市)总湿地面积为 $3.33 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占三角洲总面积的 42.7%。黄河三角洲中天然湿地比重较大,其中入海河流大小共 20 余条,且多为季节性河流。黄河是流经三角洲地区最长、含沙量最大、影响最深刻的河流。该区海岸线长 500km,泥质滩涂面积大,达 $1.02 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占总湿地面积的 30.57%,是我国东部沿海一线最重要的石油富集区,也是农业发展潜力最大的区域(表 1-2)。辽河三角洲湿地总面积为 $3.15 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占全市总面积的 79.5%。在整个地区中所占的比重较大,资源丰富。其中自然和人工湿地相对集中分布,各类型湿地所占比例不均衡(表 1-3)。盘锦市滩涂、芦苇湿地是该区天然湿地资源中比较突出的湿地类型,其中滩涂占 19.18%,苇田占 21.08%。在人工湿地中稻田占 37.74%。它们构成了环渤海三角洲湿地资源的特色和优势。滩涂是进行水产养殖和海盐生产的理想场所,同时也是鸟类和鱼类重要的栖息和繁殖地。辽河三角洲的滩涂面积为 $6.04 \times 10^4 \text{ hm}^2$,为该地区的经济发展提供了良好的条件。芦苇是重要的造纸工业原料,又是农业、盐业、渔业、养殖业、编织业的重要生产资料。同时,芦苇还能起到防风抗洪、改善环境、改良土壤、净化水质、防治污染、调节生态平衡的作用。芦苇又是鹤、鹭、苇莺类群的栖息地,在生物多样性保护中具有非常重要的意义。盘锦市苇田面积为 $6.64 \times 10^4 \text{ hm}^2$,为世界第一大苇田。盘锦市

共有水田 $1.19 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 是辽宁省的主要商品粮生产基地, 在该区经济发展中发挥着重大作用。

1.3.2 湿地资源现状与类型的多样性

黄河三角洲和辽河三角洲湿地资源丰富, 景观类型多样, 各类型湿地所占比重不同。

黄河三角洲(东营市)湿地总面积为 $3.33 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。其中天然湿地面积为 $2.29 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总湿地面积的 68.4%, 包括芦苇沼泽、疏林湿地、灌丛湿地、湿草甸、其他沼泽、河流、古河道及河口湖、潮间带河口水域、潮上带重盐碱化湿地、滩涂湿地(张启德等, 1997)。人工湿地面积为 $1.04 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总湿地面积的 31.6%, 包括盐场、虾、蟹池、水渠、水库、坑塘、水稻田(表 1-2)。

辽河三角洲(盘锦市)总湿地面积为 $3.15 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。其中天然湿地面积为 $1.60 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总湿地面积的 50.8%, 包括芦苇沼泽、疏林湿地、灌丛湿地、湿草甸、其他沼泽、河流、古河道及河口湖、潮间带河口水域、潮上带重盐碱化湿地和滩涂湿地(张启德等, 1997)。人工湿地面积为 $1.55 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总湿地面积的 49.2%, 包括盐场、虾、蟹池、水渠、水库、坑塘、水稻田。其中苇田占总湿地面积的 21.08%, 水田占总湿地面积的 37.74%, 它们构成该区湿地的主体部分, 也决定了该区湿地的主要结构、功能和分布特征(表 1-3)。

表 1-2 黄河三角洲湿地类型与面积

湿地类型	面积/hm ²	所占比例/%	湿地类型	面积/hm ²	所占比例/%
河流	10 033	3.01	水渠	26 790	8.03
古河道及河口湖	4 907	1.47	人 水库	14 410	4.32
潮间带河口水域	8 425	2.53	工 虾、蟹池	21 228	6.37
天 潮上带重盐碱化湿地	22 893	6.87	湿 水稻田	19 103	5.73
然 芦苇沼泽	24 382	7.31	地 坑塘	18 846	5.65
湿 其他沼泽	17 602	5.28	盐场	3 721	1.12
地 疏林湿地	7 734	2.32	总 计	333 427	
灌丛湿地	15 328	4.6			
湿草甸	16 111	4.83			
滩涂湿地	101 914	30.57			

表 1-3 辽河三角洲湿地类型与面积

湿地类型	面积/hm ²	所占比例/%	湿地类型	面积/hm ²	所占比例/%
河流	3 760	1.19	水渠	16 697	5.30
古河道及河口湖	1 422	0.45	人 水库	4 133	1.31
潮间带河口水域	10 674	3.39	工 虾、蟹池	8 689	2.76
天 潮上带重盐碱化湿地	5 118	1.63	湿 水稻田	118 783	37.74
然 芦苇沼泽	66 383	21.08	地 坑塘	5 882	1.87
湿 其他沼泽	2 985	0.85	盐场	754	0.24
地 疏林湿地	835	0.27	总 计	314 857	
灌丛湿地	722	0.23			
湿草甸	7 620	2.42			
滩涂湿地	60 400	19.18			

从自然湿地和人工湿地构成来看,无论是黄河三角洲湿地还是辽河三角洲湿地均以自然湿地为主。在自然湿地中,不同生态系统其结构亦不同。黄河三角洲的淡水生态系统(河流、湖泊)占自然湿地总面积的 6.51%,陆地生态系统(湿草甸、灌丛、疏林、芦苇、盐碱化湿地)占 45.37%,海陆交替系统(河口、滩涂)占 48.12%;辽河三角洲的淡水生态系统(河流、湖泊)占自然湿地总面积的 3.24%,陆地生态系统(湿草甸、灌丛、疏林、芦苇、盐碱化湿地)占 52.32%,海陆交替系统(河口、滩涂)占 44.44%。说明辽河三角洲自然湿地构成中以陆地生态系统为主,而黄河三角洲以海陆交替系统占优势。在人工湿地构成中,黄河三角洲以坑塘、水库为主,占该区人工湿地的 57.69%;辽河三角洲水稻田占绝对优势,约占 76.66%。所以辽河三角洲以农业为主,该区是国家重要商品粮生产基地(表 1-5)。

表 1-4 黄河三角洲与辽河三角洲自然湿地构成

类 型	黄河三角洲(东营市)		辽河三角洲(盘锦市)	
	面积/hm ²	占自然湿地面积比重/%	面积/hm ²	占自然湿地面积比重/%
淡水生态系统 (河、湖)	14 940	6.51	5 182	3.24
陆地生态系统 (湿草甸、灌丛、疏林、 芦苇、盐碱化湿地)	104 050	45.37	83 663	52.32
海陆交替系统 (河口、滩涂)	110 339	48.12	71 074	44.44

表 1-5 黄河三角洲与辽河三角洲人工湿地构成

类 型	黄河三角洲(东营市)		辽河三角洲(盘锦市)	
	面积/hm ²	占人工湿地面积比重/%	面积/hm ²	占人工湿地面积比重/%
水稻田	19 103	18.35	118 783	76.66
坑塘、水库	60 046	57.69	26 712	17.24
盐田、虾蟹池	24 949	23.97	9 443	6.09

1.3.3 湿地水文条件的差异

湿地水文条件创造了独特的自然环境,是最终选择湿地生物区系的重要因素。积水状况是反映湿地水文条件最直接、最重要的因素,它直接影响湿地类型和分布状况以及湿地中的物种组成和丰富度、初级生产力和面积。黄河三角洲和辽河三角洲湿地积水状况存在很大差异。黄河三角洲中,常年积水湿地(河流、湖泊、河口水域、坑塘、水库、水渠、盐田和虾蟹池、滩涂)面积为 $2.10 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总湿地面积的 63.06%;季节性积水湿地(潮上带重盐碱化湿地、芦苇沼泽、其他沼泽、疏林湿地、灌丛湿地、湿草甸和水稻田)面积为 $1.23 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总湿地面积的 36.94%。辽河三角洲中,常年积水湿地面积为 $1.12 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总湿地面积的 35.70%;季节性积水湿地面积为 $2.02 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总湿地面积的 64.3%。表明黄河三角洲以常年积水湿地为主,且滩涂湿地占优势地位,占常年积水湿地总面积的 48.47%,其次为坑塘和水库、水渠,占 28.56%;辽河三角洲则以季节性积水湿地为主,而以水稻田占优势,其面积为季节性积水湿地总面积的 58.67%,其次为芦苇沼

泽,占 32.79%。

1.3.4 湿地生产力的差异

黄河三角洲湿地生产力主要表现为渔业生产力。该区有 500km 长的海岸线和 $1.02 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 的泥质滩涂,占总湿地面积的 30.57%,占自然湿地面积的 48.12%,海岸带和浅海环境条件优越,初级生产力较高。据海岸带和海藻资源调查,本区水体平均日初级生产力为 $358 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,年初级生产量为 $102 \times 10^4 \text{ t}$ 干有机碳。该区海洋渔业可分为浅海捕捞和滩涂养殖两个方面:黄河三角洲濒临渤海湾与莱州湾两个浅海渔场,尤其黄河口附近和莱州湾西部初级生产力很高,总资源量可达 $1.0 \times 10^4 \text{ t}$ 。其中有对虾(9月,306 t)、梭子蟹(9月,5 800 t)、日本鲷(6月,350 t)、口虾蛄(4月,3 100 t)、枪乌贼(7月,490 t)等。黄河三角洲的泥质滩涂滩面宽阔平缓,坡度约为 1%,潮间带及浅海区的地质和水质均好,潮间带平均生物量为 $155 \text{ g}/\text{m}^2$,经济贝类主要有毛蚶、文蛤等,资源量共约 $34.5 \times 10^4 \text{ t}$ (许学工,1998)。每年可采捕 $8.6 \times 10^4 \text{ t}$ 。另外,该区淡水渔业生产力较高,有河流水面 $1.00 \times 10^4 \text{ hm}^2$,坑塘、水库、水渠 $6.00 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占该区人工湿地的 57.69%,1991 年淡水渔业总产量为 $1.65 \times 10^4 \text{ t}$,是国家重要商品鱼基地之一。

辽河三角洲以农业(生产水稻)和芦苇为主,是国家重要商品粮基地,也是世界第一大芦苇生产基地。该区共有水稻田 $1.19 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占湿地总面积的 37.74%,占人工湿地面积的 76.68%,年产水稻 63.6 万 t,占粮豆比重的 91.6%;沼泽以芦苇、碱蓬等植物群落为主。据辽河口湿地调查资料,芦苇群落初级生产力平均为 $14\ 150(8\ 300 \sim 20\ 000) \text{ kg}/\text{hm}^2$,低杂草甸群落平均为 $2\ 778(1\ 050 \sim 4\ 504) \text{ kg}/\text{hm}^2$,碱蓬群落平均为 $3\ 700(3\ 400 \sim 4\ 000) \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。芦苇产量由于土壤和灌水等管理情况不同而有差别,平均为 $5.7 \text{ t}/\text{hm}^2$,在芦苇群落中以咸淡混合水即中盐水补给的群落最粗壮,单产可达 $10 \text{ t}/\text{hm}^2$ 以上(肖笃宁等,1995)。该区苇田面积为 $6.64 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占湿地总面积的 21.08%,占天然湿地面积的 41.51%,年产芦苇 $3.47 \times 10^5 \text{ t}$ 。

1.3.5 湿地动态消长特征的差异

湿地动态消长的原因包括自然和人为因素两个方面。黄河三角洲以自然因素为主,表现为不断增长的趋势。黄河三角洲是由黄河泥沙淤积而成的冲积三角洲平原。由于黄河每年由黄土高原携带约 $1.05 \times 10^9 \text{ t}$ 泥沙输入河口地区,大约三分之二淤积在三角洲和滨海地带,三分之一运送到内海,巨量的泥沙致使黄河尾闾遵循“淤积—延伸—抬高—摆动—改道”的规律进行演变,流路的不断变迁造就了扇型的三角洲。自 1855 年以来,黄河尾闾决口、改道 50 多次。此间,黄河尾闾河段始终处于冲淤交替,以淤为主的状态。在水沙、河道边界条件及海岸动力要素的综合作用下,三角洲海岸线年均向海推进 0.16 km 。河口海岸线平均每年向海推进 1.8 km ,黄河三角洲尚在不断建造、延伸中。黄河是中国的第二大河,黄河与临近海域的水文活动是黄河三角洲湿地形成、分布的制约因素。黄河年均径流量 317 亿 m^3 ,入海口区的年流量为 $2.52 \times 10^{10} \text{ m}^3$,含沙量高达 $25.3 \text{ kg}/\text{m}^3$,年输沙量 16 亿 t,平均每年形成 21.3 km^2 的新海涂,是世界上土地资源新生速度最快的地区。

1974~1984年,黄河年均造陆面积高达 60.68km^2 。1855~1984年总造陆 $2\,535.15\text{km}^2$ 。黄河尾间摆动形成三角洲中岗、平、洼相间的空间分布规律,发育不同类型的湿地。在潮间带和潮下带区域,湿地动态消长受黄河入海口位置控制,河口泥沙补给使岸线迅速向海淤进,一旦河流改道,泥沙来源中断,岸线受冲刷而后退。这样长期改造的结果,形成相对稳定、平坦宽广的潮滩。

辽河三角洲为由辽河、大辽河、大凌河等冲积而成的冲积海积平原,有大辽河、双台子河、绕阳河等大小河流21条,辽河三角洲湿地的动态消长以人类活动影响为主要因素,表现为不断减少的趋势。自从20世纪80年代以来,该区受到经济发展的强烈冲击,湿地面积、结构都发生了巨大变化。据调查,1984年该区湿地面积为 $3.66\times 10^5\text{hm}^2$,到1997年,该区湿地面积为 $3.15\times 10^5\text{hm}^2$,湿地面积减少了 $5.11\times 10^4\text{hm}^2$,占原湿地面积的14%。其中“八五”石油开发占去区域湿地面积 $3.19\times 10^4\text{hm}^2$,开发苇田 $1.33\times 10^4\text{hm}^2$ 。受人为设施影响的面积亦不断扩大。随着区域综合开发的发展,湿地结构亦发生很大变化。农业资源第三期开发,开辟新水田 $4.33\times 10^4\text{hm}^2$,开发苇田 $1.33\times 10^4\text{hm}^2$,开发虾田 867hm^2 。加上油田开发活动,修路建井,显著改变了湿地原有的面貌,使湿地景观更加破碎化。

海洋活动也是制约该区湿地消长的又一主要水文动力。海水对河流的顶托作用是促进泥沙沉积的重要条件,海浪、潮汐、洋流的运动状况直接影响到三角洲地区湿地资源的变化。这里是风暴潮的多发区,海潮可向陆地侵入十几公里,形成滨海大面积滩涂湿地。该区湿地承受小凌河、大凌河、绕阳河、大辽河、外辽河和大清河各水系的100亿 m^3 的径流量,由于地面坡降小,地下水位高,又受海潮顶托,大量河水滞留于此,形成辽东湾北岸大片湿地。

1.3.6 湿地在生物多样性保护中的地位

黄河三角洲地区海洋资源得天独厚,尤其河口滩地和滨海湿地浮游植物、浮游动物最为丰富,也是底栖生物丰富的水域。据统计,该区浮游植物116种,浮游动物66种,经济无脊椎动物59种,鱼类85种,底栖生物191种。该区现已建立 $1\,530\text{km}^2$ 的国家级自然保护区,以保护新生湿地生态系统、珍稀濒危鸟类为主。该区具有世界上最年轻的河口湿地和大面积处于相对原生状态的滨海湿地,生境独特,物种丰富。该区还是东北亚内陆和环太平洋候鸟迁徙的重要中转站、越冬栖息地和繁殖地。据调查(赵延茂,宋朝枢,1994),该保护区有鸟类265种,其中属于国家一级重点保护鸟类7种,国家二级保护鸟类33种;在《中日保护候鸟及其栖息环境的协定》中的227种鸟类,本区有152种,占67%;在《中澳保护候鸟及其栖息环境的协定》中的81种鸟类,本区有51种,占63%。此外,有野生植物393种。所以区内丰富多样的湿地在国家及世界生物多样性保护中具有重要意义。

辽河三角洲由于大面积保留了其天然的湿地景观,是世界第一大芦苇沼泽地,而且建立了国家级湿地自然保护区,具有丰富多样的野生动植物资源。本区共有维管束植物46科224种(其中蕨类植物1科2种,被子植物33科174种,单子叶植物12科48种);陆生脊椎动物63科273种。两栖纲1目3科4种,爬行纲1目3科10种;淡水鱼类16科67种,其中鲤科36种,占53.7%;海域鱼类120种,硬骨鱼类有100多种,占90%左右(肖笃

宁,1994)。鸟类 17 目 46 科 238 种,哺乳类 7 目 11 科 21 种;其中国家一级保护鸟类 5 种,国家二级保护鸟类 27 种,在《中日保护候鸟及其栖息环境的协定》中的 227 种鸟,这里有 108 种。辽河三角洲是迁徙水禽的栖息和繁殖地,有水禽 114 种,占全国水禽总数的 53%;据统计,每年有 300 余只丹顶鹤迁徙经过此地,是世界丹顶鹤繁殖的最南限。该区还是黑嘴鸥繁殖地最北线,也是世界黑嘴鸥最大种群栖息地,分布有黑嘴鸥 1 200 余只,在世界生物多样性保护中占重要地位。

1.4 湿地资源的动态变化及其对湿地生态功能的影响

1.4.1 河流三角洲湿地生态功能

河流三角洲特殊的地理位置及其独特的景观结构,决定了其特殊的湿地生态功能:

1) 蓄水调洪功能:河口湿地具有强大的蓄水调洪功能。该区湿地承受各河流水系的径流量,由于地面坡降小,地下水位高,又受海潮顶托,大量河水滞留于此,因此该区海岸湿地成为陆地水入海前的巨大天然蓄水库,在调节各河流水位和海域水量平衡中起着重要作用。

2) 地下水补给和排泄功能:河口湿地及来水的各河流域均处在温带季风气候区内。汛期当洪水存于湿地时,湿地成为径流的暂时储存地,地表水可向下渗透补给地下水含水层,这时湿地成为地下水的补给水源。当枯水季节,地下水上升到湿地表面成为地表水时,通过外流和蒸发,湿地便成为地下水的排泄地。可见湿地在地下水和地表水的垂直水循环中发挥巨大作用。

3) 营养物的滞留、去除和转化功能:河流带来大量的 N、P 等营养物质,在湿地内滞留期间,经过复杂的理化过程和生物过程,使其发生重要改变,有些被去除,有些被转化,减缓了湿地的富营养化进程,同时亦改善了其下游河口的水质。

4) 削减海流、降解沉积物的功能:湿地多种植被可削减海流或潮汐浪的能量,降低其对近海岸的侵蚀力和破坏力。潮汐海浪带入湿地内大量泥沙,在湿地植被如碱蓬群落、白刺群落等作用下,使泥沙沉积在植物群落的根部。潮间带“白刺包”景观便是这种沉积物稳定作用的产物。

5) 水质净化功能:湿地内水体流动缓慢,洪水携带的大量冲积物可沉积于此,水质净化后缓缓排入海域。对上游带来的污染物亦可在此通过沉积、生物降解得以净化。

6) 高生产力的生态系统:湿地具有高生产力的生态系统,通常高于邻近的农田。

7) 野生动物的栖息地和迁徙停歇站:该区三角洲湿地为多种迁徙的水禽及其他湿地生物提供了丰富的食物(鱼、虾、蟹等肉食性食物和湿生植物的根茎叶、果实、种子等植食性食物)、水源和安全的隐蔽场所及繁殖地(大面积的芦苇沼泽、香蒲沼泽等)。因此,三角洲湿地不仅是亚洲东部重要鸟类迁徙路线上的关键停歇站,同时也是珍稀鸟类的繁殖地。另外,湿地及其水生植物向鱼类和蟹类提供食物、掩蔽所和水源,是鱼类上溯到湿地内产卵、孵化及栖息的场所,也是河蟹等幼体的优良成长地。