



黄河三角洲 滨海湿地营养元素 生物地球化学过程

Biogeochemical Processes of Nutrient Elements in
Coastal Wetland of the Yellow River Delta

于君宝 周 迪 韩广轩 管 博 等 著



科学出版社



黄河三角洲滨海湿地营养元素 生物地球化学过程

Biogeochemical Processes of Nutrient Elements in
Coastal Wetland of the Yellow River Delta

于君宝 周 迪 韩广轩 管 博 等 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以我国北方典型的泥质海岸区域——黄河三角洲滨海湿地作为研究对象,系统研究了滨海湿地生态系统碳、氮、硫、磷的生物地球化学过程,以及与之密切相关的长序列时段降水和气温变化,并对研究区生态系统服务功能价值进行了评估。研究采用了野外原位实验、野外定位观测、实验室模拟控制实验、同位素示踪试验、遥感解译、地理信息数据处理等多种研究方法,揭示了滨海湿地营养元素的累积与分解释放、土壤矿化、硝化-反硝化、吸附/解析及生态系统的碳交换等关键过程及其影响因素,建立了黄河三角洲滨海湿地碳、氮、硫、磷循环模式。研究所用数据均为原始观测数据,其研究结果和所发现的规律具有代表性和指导性。

本书可供生态学、地理科学、环境科学、土壤学、资源科学、大气科学等专业的科研工作者、管理人员参考,也可作为上述专业本科生、研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

黄河三角洲滨海湿地营养元素生物地球化学过程 / 于君宝等著. —北京: 科学出版社, 2018.1

ISBN 978-7-03-055106-1

I. ①黄… II. ①于… III. ①黄河—三角洲—沼泽化地—生物地球化学—研究 IV. ①P593

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 271231 号

责任编辑: 王海光 田明霞 / 责任校对: 郑金红

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 北京图阅盛世文化传媒有限公司

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 1 月第一次印刷 印张: 23 1/4

字数: 548 000

定价: 168.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《黄河三角洲滨海湿地营养元素生物地球化学过程》

著者名单

(按姓氏拼音排序)

陈晓梅 初晓静 褚 磊 董洪芳 管 博

韩广轩 侯小凯 栗云召 吕笑非 毛培利

宁 凯 宁 帅 屈凡柱 宋德彬 王 庆

王光美 王雪红 王永丽 谢宝华 邢庆会

杨丽琼 于 淼 于君宝 战 超 张振华

郑 垒 周 迪

前 言

湿地作为重要的自然资源和国土资源,是一种多类型、多层次、多功能的复杂生态系统,是自然界最富有生物多样性的景观类型和人类最重要的生存环境之一,也是陆地表层生态系统的重要组成部分,与森林、草地、农田等生态系统共同维系着陆地表层的稳定与平衡。湿地具有巨大的生态价值,美国生态学家估算湿地生态系统总价值约为 10 亿元/年,约占全球生态系统服务总价值的 1/3,因而被誉为“生命的摇篮”、“地球之肾”和“物种的基因库”。滨海湿地是重要的湿地类型之一,位于海洋、淡水、陆地间的生态边缘,受海陆相互作用影响显著,对全球气候变化敏感,同时受人类活动影响强烈,是典型生态脆弱区。

湿地功能能否正常发挥,主要取决于湿地的稳定性。湿地系统的稳定性首先是结构的稳定,即生物与生物之间、生物与环境之间、环境各组分之间保持相对稳定的合理结构;其次是系统功能的稳定,表现为系统不断与外部环境进行物质和能量交换过程时保持输入与输出的平衡。在所有影响生态系统结构、功能和过程的因素中,水分和营养物质是关键控制因素。生源元素循环作为湿地系统物质流动的重要组成部分,对湿地系统内水环境、土壤环境、生物环境产生明显影响,对湿地系统的演化和健康起着决定性作用。湿地中碳(C)、氮(N)、硫(S)、磷(P)的数量、平衡状况、形态转化、循环路径与规律影响湿地系统结构、功能和收支的稳定,在一定程度上决定了湿地系统的演化方向,并对湿地系统的稳定与健康产生重要影响。因此,研究滨海湿地生态系统生源元素 C、N、S、P 生物地球化学过程是认知湿地演化、健康、稳定性及湿地价值的理论基础,是湿地保护与生态修复的前提条件,对完善我国湿地科学体系研究与建设具有重要的理论意义。

本书通过野外调查与样带定位长期监测,研究了黄河三角洲滨海湿地 C、N、S、P 的空间分布特征,以及不同植被类型湿地稳定性与元素分异的关系。利用野外台站及野外定位试验场,系统地研究了黄河三角洲滨海优势植物群落的生源元素的生物累积过程与残体归还释放过程,建立了生物累积与分解释放模型。

通过野外原位实验、实验室模拟控制实验及同位素示踪试验,揭示了黄河三角洲典型滨海湿地生源元素的硝化过程、矿化过程、吸附/解析过程等关键过程和规律。估算了滨海湿地系统各分室 C、N、S、P 储量,建立了黄河三角洲典型滨海湿地 C、N、S、P 循环模式。

在野外定位观测场,采用涡度相关技术和微气象观测系统,在生态系统尺度上分析了滨海湿地生态系统碳交换过程,明确了滨海湿地净生态系统 CO_2 交换量(net ecosystem exchange, NEE)的日变化以及季节变化特征,并探讨了环境因子对 NEE 的影响,以及阴晴天变化对湿地 NEE 动态的光响应和温度响应的影响,估算了净生态系统 CO_2 交换量,明确了黄河三角洲芦苇滨海湿地的碳源/汇功能,揭示了湿地开垦为农田后的碳源/

汇功能转变机理。

利用中国地面气候资料日值数据集的逐日气温和降水量插值数据,采用线性倾向估计方法研究了黄河三角洲地区降水、气温长序列变化特征,并采用重标极差分析(rescaled range analysis, R/S 分析)法计算了各气象序列的 Hurst 指数,用于表征未来演变与过去趋势的相关程度。

应用遥感(remote sensing, RS)和地理信息系统(geographic information system, GIS)为数据处理和分析的平台,阐明了黄河三角洲滨海湿地的景观空间格局变化及其驱动力,在考虑滨海湿地碳汇功能的基础上构建了黄河三角洲滨海湿地生态价值评估的指标体系,估算了其 1979~2009 年的生态系统服务价值动态变化。

由此认为,本书的研究成果将成为滨海湿地对全球气候变化响应、滨海湿地生态健康与稳定诊断以及退化滨海湿地生态修复的重要基础理论。

本书涉及的研究成果主要是由本人所在研究团队的历届硕士研究生、博士研究生、团队成员和合作伙伴共同努力完成的,团队已发表的学术论文和研究生毕业论文是本书写作的基础。本书由于君宝策划、统稿与定稿,由周迪进行文字校对,陈晓梅、宁帅进行部分图形编辑。第一章、第二章由于君宝、周迪撰写,第三章由王永丽、周迪、栗云召、于君宝、王庆撰写,第四章由宋德彬、于君宝、战超、吕笑非撰写,第五章由董洪芳、于君宝、屈凡柱、张振华、于淼撰写,第六章由宁凯、于君宝、王光美、王雪红撰写,第七章由屈凡柱、于君宝、毛培利、侯小凯撰写,第八章由褚磊、于君宝、管博、郑垒撰写,第九章由初晓静、韩广轩、谢宝华撰写,第十章由杨丽琼、韩广轩、邢庆会撰写。

本书研究得到了山东省高等学校优势学科人才团队培育计划项目“蓝黄两区滨海资源与环境团队”、“十三五”国家重点研发计划课题“河口湿地水文联通修复技术”(2017YFC0505902)、“十三五”国家重点研发计划子课题“三江平原湿地植被退化过程与退化机制”(2016YFC0500405-01)、中国科学院百人计划项目“泥质滨海湿地元素生物地球化学循环研究”、“十二五”国家科技支撑计划项目“典型湿地生态系统恢复与重建关键技术研究示范”(2011BAC02B00)、山东省自然科学基金项目“生物地球化学与生态修复”(JQ201114)、中国科学院知识创新工程重要方向项目“黄河三角洲滨海湿地退化机制及生源元素循环过程研究”(KZCX2-YW-223)、中国科学院-国家外国专家局创新团队国际合作伙伴计划“海岸带典型环境过程”、山东省科技攻关计划项目“黄河三角洲退化湿地碳、氮过程与生态安全优化管理”(2008GG20005006)、山东省十大可持续发展科技示范工程项目“黄河三角洲海岸带湿地保护与修复技术示范”(2008GG3NS07005)等项目的支持,特此感谢!此外,感谢中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站对本研究工作的大力支持!

由于本书涉及的滨海湿地生态系统复杂,研究内容要素较多,加之作者水平有限,难免有不当之处,恳请各位读者予以指正,以便进一步补充完善。

于君宝

2017 年 10 月

目 录

第一章 滨海湿地与全球变化.....	1
第一节 全球变化下的滨海湿地.....	1
第二节 滨海湿地生态功能与元素生物地球化学过程.....	2
第三节 我国主要滨海湿地类型与分布.....	4
第四节 主要研究内容与方法.....	8
参考文献	11
第二章 黄河三角洲自然与社会经济概况.....	14
第一节 区域自然概况.....	14
第二节 社会经济概况.....	19
参考文献	20
第三章 黄河三角洲滨海湿地生态系统价值评估.....	21
第一节 问题的提出与理论依据.....	21
第二节 湿地生态价值评估研究进展.....	23
第三节 湿地生态系统服务功能及其研究方法.....	24
第四节 黄河三角洲滨海湿地景观空间格局分析.....	34
第五节 黄河三角洲滨海湿地生态系统服务功能价值估算.....	47
第六节 黄河三角洲滨海湿地生态系统服务功能价值动态变化.....	61
参考文献	67
第四章 黄河三角洲气温和降水演变特征及 R/S 分析.....	69
第一节 研究区域与研究方法.....	69
第二节 黄河三角洲地区气温演变特征.....	76
第三节 黄河三角洲地区近 50 年降水演变特征.....	84
第四节 黄河三角洲地区气温和降水变化趋势预测分析.....	90
参考文献	92
第五章 黄河三角洲典型湿地植物-土壤系统碳的生物地球化学过程.....	94
第一节 研究区域与研究方法.....	95
第二节 黄河三角洲湿地表层土壤有机碳储量.....	102
第三节 黄河三角洲典型植被群落碳累积与分解过程.....	105
第四节 黄河三角洲典型湿地土壤有机碳的组成及时空分布特征.....	118
第五节 黄河三角洲典型湿地土壤有机碳矿化过程.....	134
第六节 黄河三角洲典型湿地植物-土壤系统碳循环特征与模式构建.....	141

参考文献	145
第六章 黄河三角洲滨海湿地优势植物群落氮素的生物地球化学过程	148
第一节 研究区域与研究方法	149
第二节 大气氮的干、湿沉降	155
第三节 湿地土壤氮的季节变化与转化特征	160
第四节 优势植物氮素的生物累积过程	167
第五节 湿地土壤中微生物生物量碳、氮的季节变化	185
第六节 湿地植物分解及分解过程氮动态	189
参考文献	193
第七章 黄河三角洲滨海湿地磷的生物地球化学过程	195
第一节 生态系统中磷的迁移转化过程概述	195
第二节 研究区域与研究方法	203
第三节 滨海芦苇湿地土壤磷的形态与分布	208
第四节 滨海湿地土壤磷的吸附/解吸与矿化过程	215
第五节 滨海芦苇湿地植物磷的积累与返还	220
第六节 不同土地利用方式下芦苇湿地土壤 C、N、P 的化学计量学	233
第七节 滨海芦苇湿地系统磷的迁移转化模式	238
参考文献	242
第八章 黄河三角洲滨海湿地硫迁移转化特征研究	246
第一节 湿地生态系统中的硫过程	246
第二节 研究区域与研究方法	252
第三节 黄河三角洲典型新生滨海湿地土壤硫的时空分布特征	256
第四节 滨海湿地硫在植物体内的分配及积累动态	268
第五节 黄河三角洲新生滨海湿地植物分解过程中的硫返还	279
第六节 黄河三角洲典型新生滨海湿地硫循环特征与模式的构建	285
参考文献	288
第九章 黄河三角洲芦苇湿地净生态系统 CO₂ 交换量及其影响机制研究	292
第一节 湿地生态系统中的 NEE	292
第二节 研究区域与监测、研究方法	308
第三节 黄河三角洲芦苇湿地 NEE 时间动态分析	311
第四节 环境因子和生物因子对黄河三角洲芦苇湿地 NEE 的影响	315
第五节 阴晴天对黄河三角洲芦苇湿地 NEE 的影响	319
第六节 黄河三角洲芦苇湿地 NEE 组分区分及碳收支评估	325
参考文献	328
第十章 开垦对黄河三角洲湿地生态系统 CO₂ 交换过程的影响	334
第一节 研究区域与研究方法	334

第二节 黄河三角洲湿地和农田生态系统气象与环境要素对比研究	340
第三节 开垦对湿地生态系统 CO_2 交换特征的影响	344
第四节 开垦对黄河三角洲湿地净生态系统 CO_2 交换环境控制机制的影响	350
第五节 开垦对芦苇湿地净生态系统 CO_2 交换影响的定量评估	358
参考文献	360

第一章 滨海湿地与全球变化

第一节 全球变化下的滨海湿地

湿地是一种处于陆地生态系统和水生生态系统之间的特殊生态系统,兼有二者的属性,但又有区别于两者的特殊性质。湿地因具有巨大的生态功能和环境效益(Costanza et al., 1997),被誉为“地球之肾”,是自然界生物多样性最为丰富的生态系统之一,并与森林、草地、农田等生态系统共同维系着陆地表层生态系统的稳定与平衡。全球政府间的湿地保护公约《国际重要湿地特别是水禽栖息地公约》(简称《湿地公约》或《拉姆萨尔公约》)中给出湿地的定义是“湿地是指天然的或人工的、长久的或暂时性的沼泽地、湿原、泥炭地或水域地带,带有静止或流动,或淡水、半咸水、咸水水体者,包括低潮时水深不超过 6 m 的海域”(Finlayson et al., 1995)。同时,湿地还包括河流、湖泊、水库、稻田及退潮时水深不超过 6 m 的沿岸带水区。尽管当时参加会议的签约国家只有十几个,但截至 2000 年 7 月,已经有 122 个国家签约成为缔约国,我国于 1992 年加入了该公约。虽然国际上不同学者有不同的意见,但普遍倾向于把此湿地公约作为研究湿地的基本定义。

滨海湿地作为湿地的重要组成部分,是指发育在海岸带附近并且受海陆交互作用影响的湿地,广泛分布于沿海海陆交界、淡咸水交汇地带,是一个高度动态和复杂的生态系统[WERG (Wetland Ecosystems Research Group), 1999]。具体来讲,滨海湿地是指海陆交互作用下经常被静止或流动的水体所浸淹的沿海低地、潮间带滩地及低潮时水深不超过 6 m 的浅水水域。滨海湿地是介于陆地和海洋生态系统之间复杂的自然综合体,是生物多样性最丰富、生产力最高、最具价值的湿地生态系统之一。由于滨海湿地处于陆地与海洋的交错地带,同时受到陆地和海洋作用力的共同影响,对外界的胁迫压力反应敏感,属于生态脆弱区(Levenson, 1991)。滨海湿地对全球气候变化响应极为敏感,温度上升可能导致滨海湿地水体变化、咸水入侵和陆地丧失。据预测,21 世纪全球平均海平面上升速度很可能超过 1971~2010 年观测到的速度。相对于 1986~2005 年的海平面升幅,2081~2100 年的海平面升幅很可能达到 0.26~0.82 m (中等信度)(IPCC, 2014)。到 21 世纪 80 年代,仅海平面上升所造成的海岸侵蚀和陆地后移将可能导致世界 22% 的盐沼和红树林丧失(IPCC, 2007)。同时,滨海湿地还是世界上人口最为密集、经济最为发达的地区,承载着巨大的人口增长、经济发展、环境变化的压力(Simas et al., 2001)。例如,世界上约 50% 的人口生活在沿海 60 km 范围内,从而导致滨海湿地面积锐减,功能下降(Lappalainen, 1996)。在我国,因围垦造田、城市化而丧失的滨海湿地面积约占 55%,其中滨海滩涂湿地面积减少 $119 \times 10^4 \text{ hm}^2$,失去调蓄容积 $350 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上(张明祥等, 2001)。

第二节 滨海湿地生态功能与元素生物地球化学过程

一、滨海湿地的生态功能

滨海湿地作为湿地的一种类型, 不仅具有调节气候、涵养水源、净化环境、维持生物多样性、拦截陆源物质、护岸减灾、防风等湿地的一般功能, 还有其特殊性, 具体表现在以下几个方面。

1) 滨海湿地具有提供淡水资源的功能。溪流、河流、湖泊等都可以成为直接利用的淡水, 当湿地水分流入地下蓄水系统时, 部分地下水就可以作为人们的正常生活用水(郎振华等, 2002; 李青山等, 2004)。河口地区发达的湿地不仅能够为该地区的农业和工业提供充足的淡水资源, 还能避免大量地下水被抽取而导致的地下水枯竭或咸水入侵等状况。

2) 滨海湿地具有抵御自然灾害的功能。滨海湿地能够将过量的水分储存起来, 并慢慢释放出去; 能够将水分在时间和空间上进行再分配, 进而减少河流下游的洪水量, 起到调节水量的作用。在一些沿海地区, 淡水湿地的外流水能够限制海水倒灌, 防止海水入侵。海岸湿地植被则可以减轻或者防止潮水和风暴对海岸的侵蚀(Mauchamp et al., 2002)。

3) 滨海湿地具有排污净化的功能。湿地植物能够富集许多种重金属元素, 并将其净化, 当然湿地植被处理污染物的能力是有限的, 如果超负荷利用就会使其功能丧失。滨海湿地还可以吸收周围过量的营养物, 净化水质, 通过多样化的好氧或厌氧过程及分解者的分解过程去除水体中的化学物, 不仅能够达到净化水质的目的(Peng et al., 2013; Wang et al., 2014), 还能防止过多的营养物进入海滩造成赤潮等有害生态现象的发生(Zharikov et al., 2009)。

4) 滨海湿地具有保护生物多样性的功能。滨海湿地是众多珍稀濒危物种栖息和繁衍的场所, 在保护生物多样性方面具有极其重要的价值(Defreese, 1995; Williams, 1999; Nagy et al., 2014; Zhao et al., 2015)。例如, 我国的黄河三角洲滨海湿地地区, 据 1998 年调查, 有动物 800 余种, 其中鸟类 199 种, 占中国鸟类 1186 种的 16.78%, 占山东鸟类 406 种的 49.01%, 占黄河三角洲鸟类 272 种的 73.16%, 占中国湿地鸟类 320 种的 62.19%。这些鸟类中属于国家一级重点保护的有丹顶鹤、白头鹤、白鹤、大鸨、金雕、白尾海雕、中华秋沙鸭 7 种, 属于国家二级重点保护的有大天鹅、灰鹤等 39 种; 有 40 种是列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》中的鸟类, 152 种是《中日保护候鸟及其栖息环境协定》中的鸟类, 51 种是《中澳保护候鸟及其栖息环境协定》中的鸟类。而最新调查数据显示, 黄河三角洲现已有鸟类 367 种(刘月良, 2013), 2015 年又发现 30 余种, 约达 400 种之多。

二、滨海湿地元素生物地球化学过程

滨海湿地是一种多类型、多层次的复杂生态系统, 具有多种功能, 然而其功能能否

正常发挥主要取决于湿地的稳定性。滨海湿地系统的稳定性首先是结构的稳定,即生物与生物之间、生物与环境之间、环境各组分之间保持相对稳定的合理结构;其次是系统功能的稳定,表现为系统在不断与外部环境进行物质和能量的交换过程中保持输入与输出的平衡。

在所有影响生态系统结构、功能和过程的因素中,水分和营养物质是关键控制因素。生源元素循环作为滨海湿地系统物质流动的重要组成部分,对系统内水环境、土壤环境、生物环境、陆海交换等均产生明显影响,对滨海湿地系统的演化和健康起着决定性作用(Oertel, 2001)。滨海湿地中碳、氮、硫、磷的数量、平衡状况、形态转化、循环路径与规律极大地影响着湿地系统结构、功能和收支的稳定(Gascon et al., 2006; Sjogersten et al., 2011; Chow et al., 2013; van Dijk et al., 2015)。因而,滨海湿地中碳、氮、硫、磷循环在一定程度上决定了滨海湿地系统的自然演化方向,并对系统的稳定与健康产生重要影响。反之,湿地的退化也会导致系统内生源元素的循环过程发生重大变化,从而加速湿地的退化过程。

滨海湿地是陆地-海洋-大气相互作用最活跃的地带,也是全球环境变化的缓冲带,被誉为“地球之肾”。滨海湿地能够通过生物地球化学循环过程促进空气及碳、氮、硫、磷、氧、氢等关键生源元素的循环。滨海湿地具有很高的固碳能力,全球滨海湿地的分布面积大约为 $203 \times 10^3 \text{ km}^2$, 每年碳固定量为 $C(42.6 \pm 4.0) \text{ Tg}$, 碳积累速度为 $C(210 \pm 20) \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 要远远高于泥炭湿地(Chmura et al., 2003; Zhao et al., 2013), 并且滨海湿地大量存在的 SO_4^{2-} 粒子阻碍了甲烷的产生量,从而降低了甲烷的排放量(Choi et al., 2004)。高的碳积累速率和低的甲烷排放量,使滨海湿地对大气温室效应的抑制作用更加明显。滨海湿地特殊的水文条件决定了湿地生物地球化学过程的特征,McClain 等(2003)研究指出,陆地与水生生态系统交界区的生物地球化学空间与时间的剧烈变幅主要是由湿地水文条件变化引起的,而加速生物地球化学过程和保持较高的反应速度则是由湿地水文过程和频率所决定的。滨海湿地土壤是湿地生物地球化学循环的重要环境介质。土壤营养物质的多少决定着其为湿地植物生长供应和协调营养条件和环境条件的能力,它是湿地土壤物理、化学和生物等性质的综合反映(Mistch et al., 2000)。在滨海湿地生态系统中,主要生物因子是植物、微生物和动物,它们从湿地土壤中吸收各种营养物质,使矿质元素转化为有机态,并在微生物的作用下进行元素生物地球化学循环(Mistch et al., 2000),是湿地环境中化学物质生物地球化学循环的强大动力。这些生物因子间相互作用、相互依赖,并进行着物质循环和能量交换,维持一种相对的动态平衡(Conrad, 1996)。同时,各种生物都直接或间接地参与或改变着湿地生物地球化学结构、特征和化学物质的生物地球化学行为和归宿。这些生物因子的存在使得湿地具有极其丰富的生物多样性,并使该系统拥有极其重要的生态功能。

由于滨海湿地特殊的地理位置,其生态特征受到陆地环境和海洋环境的共同制约,既受到自然因素的控制,又受到人类活动的干扰,因此滨海湿地是脆弱的生态敏感区,特别是滨海湿地元素生物地球化学过程会直接或间接受到全球气候变化和人类活动的强烈影响。滨海湿地对全球气候变化极为敏感,温度上升可能导致滨海湿地发生水体变化、咸水入侵和陆地丧失。据预测,到 21 世纪 80 年代,仅海平面上升所导致的海岸侵

蚀和陆地的后移就将导致世界 22% 的盐沼和红树林丧失，如果海平面上升 1 m，亚洲将失去 2500 km² 的红树林（IPCC，2007），海平面上升 48 cm，我国黄河三角洲大约 40% 的地区将被淹没。滨海湿地是陆地生态系统中最重要碳库之一，有机质不完全分解会导致湿地环境中碳和营养物质的累积，气候变暖会加速湿地生物地球化学反应，从而使湿地环境中碳的释放速率加快。有研究表明，湿地 CO₂ 和 CH₄ 的产生和排放与土壤有机碳、可溶性有机碳及氮的含量密切相关，且受土壤温度和水文条件的影响（Yu et al., 2007a）。人类活动诱发的全球性环境问题自 20 世纪 80 年代以来已成为国际科学研究的热点。

长期以来，工业、农业生产和城市化过程等人类活动对滨海湿地的影响越来越广泛、深刻，过度开发、围湖（海）造地、引水灌溉、污水排放等，直接导致了天然湿地类型不断减少和面积不断减小，污染严重，生物多样性逐步丧失，湿地生产力下降，湿地功能退化甚至丧失。近半个世纪以来，农业活动中化学肥料的大量使用造成滨海湿地生态系统的氮含量相应增加，引起碳的积累与重新分配、地气界面气体物质交换、生态系统生产力及各种生物学性状的变化等。碳、氮循环是全球变化研究的重要组成部分，随着全球变化导致的 CO₂ 浓度升高，氮素很可能会成为湿地系统初级生产力的一个限制性因素（Markus et al., 2000）。目前，主要有两个方面的人类活动直接影响着滨海湿地碳、氮等营养元素生物地球化学循环：一是土地利用/覆被变化，即生态系统类型的转变，如滨海湿地开垦成农田；二是生态系统净生产量变化及由此引起的碳、氮循环变化，该过程会导致土壤矿化势降低，硝化势增加，土壤供氮能力和氮的可利用性降低，从而加速了氮素的损失（Angela et al., 2006）。

第三节 我国主要滨海湿地类型与分布

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，基于水文条件的差异制定了湿地分类系统，发表在美国鱼类和野生动物管理局的 39 号通告上。该湿地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四大类，然后根据水淹深度和水淹持续时间细分为 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 号通告湿地分类

内陆淡水湿地	内陆咸水湿地	海岸淡水湿地	海岸咸水湿地
季节性淹水	盐碱平地	浅水沼泽	盐滩
淡水草甸	盐碱沼泽	深水沼泽	盐化草甸
浅水沼泽	咸水水体	开阔水体	不规律淹水盐沼
深水沼泽			规律性淹水盐沼
开阔水体			海湾
灌丛沼泽			红树林沼泽
木本沼泽			
藓类沼泽			

Mitsch 和 Tiner 均采用系统、亚系统、类、亚类、主体型、特殊体等六级体系将美国湿地分为 5 个系统 [滨海湿地 (marine)、河口湿地 (estuarine)、河流湿地 (riverine)、湖泊湿地 (lacustrine)、沼泽湿地 (palustrine)]、10 个亚系统和 55 个类 (Tiner et al., 1994; Mistch et al., 2000)。截至目前, 美国是对湿地分类体系研究最深也最为完整的国家。

而 20 世纪 90 年代初由 Dugan 提出的湿地分类系统, 在《湿地公约》批准后, 被全球广泛推荐使用 (表 1-2)。

表 1-2 《湿地公约》的湿地分类系统

1 级单位	2 级单位	3 级单位	4 级单位
咸水湿地	浅海	潮下带	低潮时水深不足 6 m 的永久性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, 包括礁崖和盐滩
			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	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
		潟湖	沼泽: 盐碱、潮汐半咸水和淡水沼泽
			森林沼泽: 红树林、聂帕棕榈林和潮汐淡水沼泽林
			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、碱水湖、泥滩和沼泽
淡水湿地	河流	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	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	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、洪泛草地和藁草地
			泥炭地, 包括灌木、苔藓和富养泥炭地
	木本湿地		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物的淡水泉
			地热湿地
人工湿地	淡水/海水养殖		疏林/灌木沼泽: 无机土壤上以灌木为主的沼泽
	农用湿地		淡水沼泽林: 季节性无机土壤洪泛林地
			有林泥炭地: 泥炭森林沼泽
	盐田		池塘
			水塘、蓄水池和小型水池
	城市 and 工业湿地		稻田、水沟/渠
			季节性洪泛耕地
蓄水区			盐地和蒸发池
			废水处理区: 沉淀池、氧化池、处理场
			开采区: 采石坑、采矿池和取土坑
			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

对滨海湿地的理解有两种: 一种是指滨海湿地类型, 另一种是指位于滨海区域的湿地。《国际重要湿地特别是水禽栖息地公约》(即《拉姆萨尔公约》) 中认为滨海湿地是指陆地生态系统和海洋生态系统的过渡地带, 其下限为海平面以下 6 m 处, 上限为大潮

线以上与外河流域相连的半咸水和淡浅水湖泊、沼泽以及相应的河段间的区域 (Finlayson et al., 1995)。这是将滨海湿地作为一种湿地类型来理解, 其他分类方法中较少提及滨海湿地的概念, 只是将滨海湿地从地理位置范畴上理解为滨海区域的湿地, 或者海岸带湿地。

在我国, 陆健健 (1996) 基于《拉姆萨尔公约》的分类方法将我国的滨海湿地分为潮上带淡水湿地、潮间带滩涂湿地、潮下带近海湿地和河口沙洲离岛湿地 4 个子系统。此后, 我国对滨海湿地的分类在兼顾植被特征和地质特征的基础上进行了更细致的描述, 将滨海湿地分为 12 种类型 (赵学敏, 2005; 陆健健等, 2006), 具体标准如下。

1) 浅海水域, 低潮时水深不超过 6 m 的永久水域, 植被盖度 < 30%, 包括海湾、海峡。

2) 潮下水生层, 海洋低潮线以下, 植被盖度 $\geq 30\%$, 包括海草床、海洋草地。

3) 珊瑚礁, 由珊瑚聚集生长而成的湿地, 包括珊瑚岛以及有珊瑚生长的海域。

4) 岩石性海岸, 底部基质 75% 以上是岩石, 盖度 < 30% 的植被覆盖的硬质海岸, 包括岩石性沿海岛屿、海岩峭壁。

5) 潮间沙石海滩, 潮间植被盖度 < 30%, 底质以砂、砾石为主。

6) 潮间淤泥海滩, 植被盖度 < 30%, 底质以淤泥为主。

7) 潮间盐沼湿地, 植被盖度 $\geq 30\%$ 的盐沼。

8) 红树林沼泽, 以红树植物群落为主的潮间沼泽。

9) 海岸咸水湖, 海岸带范围内的咸水湖泊。

10) 海岸淡水湖, 海岸带范围内的淡水湖泊。

11) 河口水域, 从近口段的潮区界至口外海滨段的淡水舌峰源之间的永久性水域。

12) 三角洲湿地, 河口区由沙岛、沙洲、沙嘴等发育而成的低冲积平原。

我国的滨海湿地主要分布于东部沿海地区, 包括 11 个省 (自治区、直辖市) 和港澳台地区 (张晓龙等, 2005) (图 1-1, 表 1-3)。滨海湿地以杭州湾为界, 分成杭州湾以北和杭州湾以南的两个部分 (国家林业局等, 2000)。杭州湾以北的滨海湿地除山东半岛、辽东半岛的部分地区为岩石性海滩外, 多为沙质和淤泥质型海滩, 主要由环渤海滨海湿地和江苏滨海湿地组成。其中, 黄河三角洲和辽河三角洲是环渤海地区的重要滨海湿地, 黄河三角洲滨海湿地是我国保存最完整、最广阔和最年轻的滨海湿地生态系统, 其独特的快速演化过程为世界所独有, 此外还有莱州湾湿地、马棚口湿地、北大港湿地和北塘湿地, 环渤海湿地总面积约 600 万 hm^2 。而江苏滨海湿地仅海滩面积就达 55 万 hm^2 , 主要有盐城湿地、南通湿地和连云港湿地。盐城湿地因湿地辽阔而闻名, 面积 6.8 万 hm^2 , 已被列入世界重点湿地名录, 被誉为“东方湿地之都”。杭州湾以南的滨海湿地以岩石性海滩为主, 其主要河口及海湾有钱塘江口-杭州湾、晋江口-泉州湾、珠江口-河口湾和北部湾等。在海湾、河口的淤泥质海滩上分布有红树林, 在海南至福建北部沿海滩涂及台湾岛西海岸都有天然红树林分布区。热带珊瑚礁主要分布在西沙群岛、南沙群岛及台湾、海南沿海, 其北缘可达北回归线附近 (<http://www.shidi.org>)。

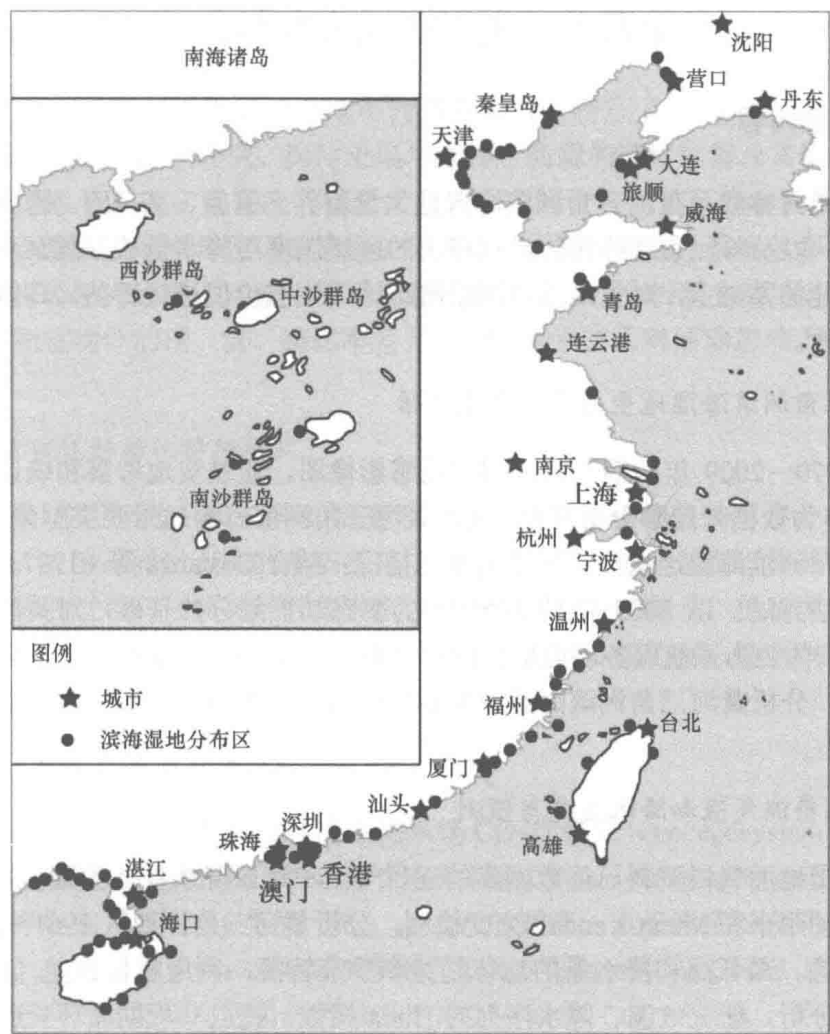


图 1-1 中国滨海湿地分布示意图

表 1-3 中国滨海湿地主要分布地区

地区	主要湿地
辽宁	辽河三角洲、大连湾、鸭绿江口、辽东湾
河北	北戴河、滦河口、南大港、昌黎黄金海岸
天津	天津沿海湿地
山东	黄河三角洲、莱州湾、胶州湾、庙岛群岛
江苏	盐城滩涂、海州湾
上海	崇明东滩、江南滩涂、奉贤滩涂
浙江	杭州湾、乐清湾、象山湾、三门港、南麂列岛
福建	福清湾、九龙江口、泉州湾、晋江口、三都湾、东山湾
广东	珠江口、湛江港、广海湾、深圳湾、韩江口
广西	铁山港、安铺港、钦州湾、北仑河口湿地
海南	东寨港、清澜港、洋浦港、三亚、大洲岛、西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛
港澳台地区	香港米浦和后海湾，台湾淡水河、兰阳溪、大肚溪河口、台南、台东湿地

第四节 主要研究内容与方法

一、主要研究内容

本书主要内容涉及黄河三角洲滨海湿地大量营养元素碳、氮、硫、磷的生物地球化学关键过程,以及与元素迁移转化过程相关的区域温度与降水量长序列演变,并在考虑湿地固碳功能的基础上,对黄河三角洲滨海湿地的生态价值进行评估。具体研究内容包括以下几方面。

(一) 黄河三角洲滨海湿地生态系统价值评估

利用 1979~2009 年四期不同时相的遥感影像图,通过实地考察和统计资料等,以 RS 和 GIS 作为数据处理和分析平台,在对黄河三角洲滨海湿地景观类型分类的基础上,研究黄河三角洲滨海湿地景观空间格局变化情况;结合 Costanza 等(1997)的生态系统服务功能评估方法,以 2009 年景观类型作为生态功能划分的基础,对黄河三角洲滨海湿地 30 年来的生态系统服务功能价值进行估算;基于研究区景观类型与生态系统服务功能的变化,分析黄河三角洲滨海湿地生态系统服务功能价值动态变化,并对其驱动力进行探讨。

(二) 黄河三角洲气温和降水演变与预测

基于中国地面气候资料日值数据集的逐日气温和逐日降水量插值数据,采用线性趋势分析、滑动距平和 Mann-Kendall 突变检测,分析黄河三角洲地区 1961~2010 年的平均温、最高温、最低温和降水量的总体趋势和季节特征;利用重标极差(R/S)分析和非周期循环分析,研究气温、降水序列的 Hurst 指数,提取非周期循环长度,并对黄河三角洲地区气温和降水未来变化趋势进行预测。

(三) 黄河三角洲营养元素植物-土壤系统碳过程

研究黄河三角洲滨海湿地土壤有机碳的组成及分配比例;轻组有机碳、重组有机碳、可溶性有机碳、颗粒有机碳的时间变化和空间分布特征,以及自然条件和土壤理化条件对有机碳组分时空变化的影响;碳元素在典型滨海植物的累积过程及分解过程;黄河三角洲典型湿地土壤有机碳的矿化特征,探讨水分、温度状况对矿化速率的影响;根据面上及样带监测结果,建立滨海湿地土壤-植物系统有机碳循环模型,并估算有机碳储量。

(四) 基于 ^{15}N 示踪技术的滨海湿地优势植物群落氮素生物地球化学过程

研究沉降物中水溶性离子、干沉降氮输入量、湿沉降氮输入量、铵态氮和硝态氮的贡献率及月变化动态等特征。基于 ^{15}N 稀释技术研究芦苇和盐地碱蓬群落湿地表层土壤的无机氮库的时空分布特征、矿化/硝化速率的动态变化规律,结合盆栽试验,研究芦苇和盐地碱蓬对氮素的吸收利用规律;采用氯仿熏蒸法研究土壤微生物量氮的季节变化特征;采用原位试验法研究黄芦苇和盐地碱蓬系统氮素的分解释放过程。