



河口湿地生态环境 需水规律与调控管理

——以辽河三角洲湿地为例

——苏芳莉 等/著——



科学出版社

国家自然科学基金
金资助项目成果

河口湿地生态环境需水规律与调控管理 ——以辽河三角洲湿地为例

苏芳莉 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以国家自然科学基金项目“辽河三角洲湿地芦苇需水规律研究”(50879046)为依托,以辽河三角洲湿地为研究对象,按照湿地生态系统的结构和功能,把生态环境需水量划分为5种类型:湿地植被需水量、湿地土壤需水量、生物栖息地需水量、补给地下水需水量以及水库、水塘、养殖塘生态环境需水量,并分别确立了需水量的级别和相应指标。在此基础上提出辽河三角洲水资源管理模式。每章自成体系,都是一个热点问题并可成为一个重要的研究课题。本书将为湿地生态环境需水量的研究和湿地水分调控提供一定的参考和指导。

本书可作为环境科学、湿地生态、生态与环境规划等方向科研人员 and 政府部门管理人员的参考用书,也可作为水生态方向相关专业研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

河口湿地生态环境需水规律与调控管理:以辽河三角洲湿地为例 / 苏芳莉等著. —北京:科学出版社, 2014.9

ISBN 978-7-03-041681-0

I. ①河… II. ①苏… III. ①辽河流域—三角洲—沼泽化地—生态环境—需水量—研究 ②辽河流域—三角洲—沼泽化地—生态环境—水资源管理—研究 IV. ①P942.307.8 ②TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 196303 号

责任编辑:张震 / 责任校对:鲁素
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:无极书装

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

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年9月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014年9月第一次印刷 印张:13 3/4 插页:4

字数:270 000

定价:90.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

湿地是地球上海陆相互作用形成的独特生态系统，是重要的生存环境和自然界最富生物多样性的生态景观之一，有着“地球之肾”的美誉，受到全世界的广泛关注。但是长期以来，由于认识的局限和对经济效益的片面追求，人们对湿地资源的开发利用给湿地的生态环境造成了严重的后果。河口湿地独特的地理环境决定了其与人类活动的相互作用更为活跃，生态环境更为脆弱，遭受破坏的程度更为严重。保护和整治受损的河口湿地已成为当务之急。

本书以国家自然科学基金项目“辽河三角洲湿地芦苇需水规律研究”(50879046)为依托，以课题组近 5 年的研究成果为基础，以辽河三角洲湿地为研究对象，按照湿地生态系统的结构和功能，把生态环境需水量划分为 5 种类型：湿地植被需水量、湿地土壤需水量、生物栖息地需水量、补给地下水需水量以及水库、水塘、养殖塘生态环境需水量，并分别确立了需水量的级别和相应指标。在此基础上提出辽河三角洲水资源管理模式。

本书通过系统研究表明：①以辽河三角洲湿地的代表植物芦苇为研究对象，采用桶栽试验研究了其灌溉制度及利用海水灌溉的可行性。结果表明 10cm 水层深度对芦苇生长最为有利，对以往大水漫灌的生产模式是有利的补充；利用海水灌溉时，选用调配范围 0.3%~0.9%的微咸水，设置水层深度 20~25cm 的灌溉模式比较合理。提出了利用海水灌溉增加湿地灌溉途径的可行性。②概括了湿地生态环境需水量的概念和研究意义，结合河口湿地的生态环境特点确定了适用于河口湿地的生态环境需水量计算方法，即将其视为几种不同类型的生态环境需水量之和，分别为湿地植被需水量、湿地土壤需水量、生物栖息地需水量、补给地下水需水量和水库、水塘、养殖塘生态环境需水量。③以双台河口湿地为例，利用“3S”技术对湿地地表信息进行提取，计算出双台河口湿地最小生态环境需水量为 $0.039 \times 10^8 \text{m}^3$ ，最适宜生态环境需水量为 $0.076 \times 10^8 \text{m}^3$ ，最大生态环境需水量为 $0.155 \times 10^8 \text{m}^3$ 。计算结果表明，2005 年湿地生态环境需水量比 2000 年有所减少。对生态环境需水量的变化进行了对比分析，概括了双台河口湿地生态环境需水量变化的原因，并对河口湿地的环境状况提出了一些湿地生态保护的对策。

本书是在沈阳农业大学农业水土环境课题组多位老师、同学的共同参与下完成的，在此对为课题付出辛勤努力的全体师生表示最诚挚的谢意，也仅以本书的付梓作为对各位付出的最好回报。

在本书出版之际，首先感谢我的博士后导师王铁良教授。王老师带领课题组无怨无悔地投身到湿地研究中，确定科研思路，制定研究计划，分享科研成果；带领我们从无到有，从基础研究到应用研究，克服了一个又一个困难，取得了一项又一项成果，培养了一代又一代人才。本书内容完成过程中得到沈阳农业大学水利学院郭成久教授、周林飞副教授、范昊明副教授、柴宇讲师等多位老师的指导帮助；芦晓峰、成遣两位博士研究生，赵博、张欣、王立业、张潇予、汪洋、张爽、陈曦、袁鑫、刁一峰、曹峥、于东浩等多位硕士研究生参与课题实验及成果分析；李海福老师为本书后期完善做了大量工作。本书编写过程中也得到沈阳农业大学多位领导、其他老师给予的无私帮助。在此对各位的付出致以衷心的感谢！

由于作者水平有限，不足之处在所难免，恳请读者批评、指正。



2014年6月

目 录

第一篇 理 论 篇

第一章 绪论	3
第一节 辽河三角洲湿地现状	3
一、辽河三角洲湿地发展历程	3
二、水资源现状	4
三、水质情况	5
第二节 湿地生态环境需水量研究现状	6
一、国外研究现状	6
二、国内研究现状	8
第三节 湿地生态环境需水量研究展望	10
一、辽河三角洲湿地生态环境需水量解决对策	10
二、研究展望	12
第二章 辽河三角洲湿地概况	16
第一节 湿地的演变历史	16
一、地理位置	16
二、辽河三角洲地貌演化	18
三、辽河三角洲滨海湿地的形成	20
四、辽河三角洲湿地的演化规律	22
第二节 自然概况	23
一、地质地貌特征	24
二、水文条件	25
三、气象气候条件	25
四、土壤类型及植物资源	25
第三节 社会经济状况	27

第四节 流经湿地水系	28
第三章 辽宁三角洲湿地生态环境需水量	32
第一节 辽宁双台河口湿地生态环境需水量研究方法	32
一、国外生态环境需水量方法介绍	32
二、适用于我国的湿地生态环境需水量计算方法介绍	34
三、河口湿地生态环境需水量计算方法的选取	37
第二节 辽宁双台河口湿地生态环境需水量计算	39
一、利用“3S”技术进行信息提取	39
二、辽宁双台河口湿地生态环境需水量变化分析	44
三、本章小结	46
第四章 辽河三角洲湿地植被需水机理	48
第一节 不同水层深度对芦苇生长状况的影响	48
一、研究现状	48
二、试验布设	52
三、观测内容与方法	54
四、不同地下水埋深对芦苇生长的影响	56
五、不同地下水埋深对芦苇各部分含水率的影响	65
六、不同地下水埋深对芦苇产量的影响	68
七、不同试验处理对土壤速效养分的影响	69
八、芦苇成熟后各部分数据分析	72
九、小结	74
第二节 不同晒田程度对芦苇的影响	74
一、不同晒田程度对人工湿地芦苇迅速生长期生态特征的影响	74
二、不同试验处理对植株含水量的影响	79
三、不同试验处理对芦苇产量的影响	81
四、不同试验处理对桶栽土壤速效养分的影响	82
五、小结	83
第三节 不同水分条件下芦苇根系发育规律	84
一、研究现状	84
二、试验布设	86

三、调查的内容与方法	90
四、调查研究结果与分析	91
五、小结	102
第四节 芦苇充分灌溉模式研究	103
一、研究的理论基础	103
二、研究结果及分析	106
三、小结	112
第五节 辽河三角洲湿地芦苇水分生产函数	113
一、试验方法	113
二、芦苇水分生产函数研究	114

第二篇 应 用 篇

第五章 基于“3S”技术的辽宁双台河口湿地分布格局和时空动态	123
第一节 研究概述	124
一、“3S”技术在湿地研究中的应用	124
二、湿地景观分布格局研究	126
三、湿地景观时空动态变化研究	127
第二节 景观分类及基础数据的提取	128
一、双台河口自然保护区的景观分类	128
二、数据来源	129
三、遥感数据的提取方法	129
第三节 双台河口自然保护区景观格局动态变化分析	132
一、景观格局动态变化研究方法	132
二、双台河口自然保护区景观格局分布研究	134
三、双台河口自然保护区景观动态变化研究	138
四、研究区景观类型转化研究	144
第四节 双台河口自然保护区景观格局演变驱动力分析	147
一、自然因素分析	147
二、人为因素分析	149
第五节 辽宁双台河口湿地自然保护区景观变化趋势预测研究	153
一、景观变化的预测方法	153

二、景观变化的预测研究	154
第六节 小结	158
第六章 辽宁双台河口湿地遥感监测与湿地信息系统的建立	162
第一节 辽宁双台河口湿地国家级自然保护区概况	162
一、概况	162
二、保护区功能分区	164
三、辽河三角洲湿地现状及原因	165
第二节 湿地遥感监测	167
一、基础资料和工作环境要求	167
二、野外实地测量考察	168
第三节 遥感图像解译方法	169
一、直接判读法	170
二、相关分析法	170
三、分层分析法	171
四、综合分析法	171
第四节 辽宁双台河口湿地信息系统的建立	171
一、盘锦市 2000 年与 2005 年湿地面积对比	171
二、辽宁双台河口湿地土地分类系统建立	173
三、辽宁双台河口湿地解译标志建立	175
四、解译成果	175
五、面积计算	176
六、属性信息输入与查询	177
第五节 双台河口自然保护区内部生态功能分区	178
一、分区的原则和依据	178
二、生态功能分区	179
三、辽宁双台河口湿地的生态环境功能	181
第七章 辽河三角洲湿地用水管理	185
第一节 湿地水资源优化配置	186
一、方案设置	186
二、辽宁双台河口湿地水资源供需平衡分析	187

三、结果分析	196
四、辽宁双台河口湿地特枯年份水资源配置对策	198
第二节 湿地水分的调控	198
一、湿地水分调控的必要性	198
二、湿地水分调控的措施	199
第三节 湿地水分的管理	201
一、采取法律手段，依法管理湿地	201
二、进行长期有效的监测	202
三、加大湿地优先保护力度	202
四、完善湿地保护的政策体系，加强宣传教育	203
五、加强水污染防治，改善与提高水环境质量	203
六、发挥湿地自我修复能力	204
后记	206
图版	

第一篇 理 论 篇

第一章 绪 论

第一节 辽河三角洲湿地现状

一、辽河三角洲湿地发展历程

辽河三角洲的大规模开发始于 20 世纪 60 年代, 由于开发历史较短, 土地利用方式相对单一, 景观的异质性水平亦较低。随着人为干扰强度的增加, 景观破碎化程度加深, 形状破碎化降低。内部生境破碎化与斑块大小呈正相关, 基本随人为干扰强度增加而降低。景观破碎化与优势度增高(由于人类的介入, 使得景观结构趋向单一, 即优势度增高多样性降低)并不矛盾, 由于人类定向选择造成许多景观类型(生态系统)退化或消失, 同时人类活动又不断分割景观使原来整体的自然景观分化成为不同类型景观斑块^[1], 引起整个区域内景观格局和功能的变化。

辽河三角洲湿地属于暖温带大陆性半湿润季风气候, 年均降水量623.2mm, 近年来随全球气候变暖变干, 海平面不断上升, 降水逐渐减少, 致使河流、湖泊等水面缩小, 部分沼泽、滩涂湿地有向旱地、荒草地演变的趋势, 面积逐渐减少^[2]。水分和盐分是制约苇田生长的主要因子, 而海水和河水的彼此消长决定着当地土壤的水盐运动。如果河道来水量不断下降, 则会产生海水倒灌的危险, 使得辽河三角洲湿地含盐量不断攀升, 从而影响芦苇的产量, 导致靠近河口地区的芦苇湿地不断退化, 造成苇田面积的减少, 由1995年的266.45km²减少到2010年的243.78 km²^[3]。芦苇面积的减少, 导致草根层破坏, 湿地疏干, 降低了湿地对洪水的拦蓄功能。同时, 由于湿地疏干后, 湿生植被演变为中生或旱生植被, 覆盖率降低, 增大了地表蒸腾蒸发, 加剧了干旱化、盐碱化和风沙化的程度, 与此同时, 湿地受到破坏后, 向地下水补给水分的功能丧失, 降低了地下水的储备量从而导致区域湿地生态环境恶化。

同时, 随着社会经济的飞速发展, 诸如修建防洪坝等水利设施、扩建居民住宅和公共道路交通等占地面积较广的城建工程的不断开发建设, 农业产业结构的

转变,水产养殖和种植经济作物的发展导致了鱼塘和果蔬用地面积明显上升,从而造成了芦苇沼泽湿地和滩涂湿地面积的大量减少;造成大量周边湿地景观被占用和隔离,致使景观斑块数量不断上升。同时,地表水和地下水源遭到严重阻断,造成大量湿地因水分干涸而消亡或退化为荒草地,这反映出景观破碎化趋势日益严重^[4]。不断扩建的水库和防洪坝,一方面,切断了水利设施与下游河流的水源,造成内流区地表盐分向下游排泄困难,除了造成沼泽、湖泊等天然湿地面积的减少,还加剧本区湿地盐碱化的程度;另一方面也减少了沼泽、湖泊、滩涂等湿地的上游水源。自然湿地景观面积的减少、内部结构的简单化造成生态系统自我调节能力和抗干扰能力下降,提高了湿地的脆弱性。

二、水资源现状

辽河三角洲湿地位于辽河的入海口处,是辽河进入渤海的最后一道屏障。辽河在辽宁省境内的流域面积为 6.92 万 km^2 ,被称为辽宁的“母亲河”。辽河流域水资源总量约为 $214 \times 10^8 \text{m}^3$,目前实际供水量为 $151.78 \times 10^8 \text{m}^3$,水资源开发利用率已达 71%,大大超过了水资源开发利用的极限。即使这样,辽河中下游地区每年缺水约为 $30 \times 10^8 \text{m}^3$,沈阳、铁岭、盘锦等大中城市,都进入了全国 100 座严重缺水城市的行列。

近年来,辽河三角洲湿地上游来水减少,河道断流,生态环境恶化。据辽宁境内辽河干流第一站福德店水文站统计,东、西辽河自 2000 年以来已连续 4 年没有来水了,辽河自 2000 年开始出现断流,2000 年断流 138 天,2001 年断流 142 天,2002 年断流 187 天,2003 年断流 127 天,2004 年断流 100 天。连续枯水造成河道干枯,失去了地下水补给、输沙、排盐等作用,土地沙化、湿地萎缩等生态问题十分严重。辽河的入海口盘锦地区,近几年来水量由原来的 $50 \times 10^8 \text{m}^3$ 减少到 $30 \times 10^8 \text{m}^3$,入海口泥沙淤积,形成“海水倒灌”现象,地表水和地下水的含盐度增高,加剧了土壤盐碱化,自然环境遭到严重破坏^[5]。造成水资源现状的原因主要有以下几个方面。

(1) 降水量减少,连续 5 年干旱。太阳黑子相对数年周期性变化,对辽宁省降水量影响极为显著。近几年,正值太阳黑子活动的高峰期,受其影响,辽河流域年降水量较常年偏少 20%~30%,降水量时空分布极不均匀,自 2000 年开始辽河流域出现连续干旱年份,河槽径流稀少,地下水位降低。

(2) 人类活动影响。沿河各地大肆砍伐树木、侵占草场、森林、农田、滩地,造成植被破坏,土质疏松,泥沙俱下,部分河段河床以每年 10cm 的速度

在增高,造成下游河段河底高程抬高,河水下泄不畅;同时,河床积沙较厚,造成地表水大量渗漏,很难形成径流;另外,一些沿河城市为打造城市亮点工程,在干支流上利用橡胶坝拦截河水修建人工河,使本来来水量就不多的辽河水更少了。

(3) 水资源开发严重“透支”。依据国际惯例一条江河极限水资源开发利用率为 40%,而辽河水资源开发利用率已达 71%,大大超过了水资源开发利用的极限。辽河水系就像一棵大树,主要支流呈扇形分布,各地为了加强治理与开发,相继在干、支流建成了 81 座大、中型水库,其中仅中上游的通辽市就有大、中、小型水库 105 座,基本上控制了辽河洪涝灾害的发生,但同时也使辽河水被截流,把一条“活河”变成了“死河”,辽河主要支流共有 14 条,其中绝大多数都建立了拦蓄水工程,拦蓄水总量 $64 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

由于多年来无节制地引水截水,不考虑河流的承载能力,造成了辽河水资源开发严重“透支”。20 世纪 90 年代,经济发展及人口的增加,对水资源的需求日益增加,造成地下水超采严重,据统计辽河流域地下水超采量达 $10.78 \times 10^8 \text{m}^3$,沈阳、辽阳、通辽等地因大量超采地下水,形成了大面积地下水降落漏斗,大大降低了区域水资源的可再生性^[6]。

三、水质情况

辽河中下游是辽宁工农业发达、人口密集的地区。近几年,辽河中下游地区每年向辽河排放废污水的总量近 $20 \times 10^8 \text{m}^3$ 。辽河由于河道径流小,排污能力差,所以纳污量急剧增加,水质严重恶化^[7]。2005 年,87.1%的国控断面未达到功能要求,主要污染指标是 COD、氨氮、BOD₅、高锰酸盐指数、挥发酚、石油类、溶解氧、枯水期水质较差。“十五”期间,流域水质总体无明显变化,2005 年劣 V 类水质断面比例为 46.9%,比 2000 年减少了 5 个百分点^[8,9]。同时,流域中众多的水库、排洪拦蓄工程的建设,改变了河流自然系统水循环的流路,降低了中下游地下水的补水与蓄水功能,以及地表水的自净能力。长期以来水资源开发利用很少考虑辽河的承载能力,更没有评估和量化维持辽河生态系统平衡所需的用水量,从而导致河枯湖干,水质污染,生态环境恶化^[10,11]。据观测,自上游至下游铁岭、沈阳和盘锦段河水均为劣 V 类水质。水库蓄水量严重不足,13 座大中型水库的实际库容量仅为设计库容量的 1/3,水中污染物浓度急剧上升,如高锰酸盐指数上升加快,水库水质恶化加剧。目前只有 2 座水库水质符合国家 III 类水质标准,7 座水库水质为 IV 类水质,其余 4 座水库的水质均为 V 类或劣 V 类水质,甚至有些水库已

丧失了供水功能。辽河水污染已由下游蔓延到中上游，由河槽扩散到水库，由城市扩散到农村，由局部河段发展到全流域^[12, 13]。

综上所述，近年来，由于全球气候变暖、降水量减少、过度放牧、疏干沼泽、不合理开发泥炭资源等造成辽河三角洲湿地水环境严重恶化^[14, 15]。辽河三角洲湿地的水源涵养功能衰减、湿地面积萎缩、水资源日益短缺、生物多样性锐减、泥炭资源遭到破坏、沼泽有机污染日趋严重，沼泽湿地的多种生态功能明显下降，湿地生态环境需水量逐渐供应不足。

因此，研究湿地生态环境需水量是非常必要的，也是异常紧迫的任务。湿地生境复杂、物种丰富，是世界上最富生产力的生态系统之一，对区域和全球的经济、环境保护有重要影响。研究湿地生态环境需水量，不仅可以降低湿地的侵蚀破坏、改善湿地状况，还可以进一步提高湿地生态效益和经济效益。

第二节 湿地生态环境需水量研究现状

生态环境需水量研究始于 20 世纪 40 年代，美国渔业与野生动物保护局对河道内流量对鱼类产量影响的关注，兴起于 70 年代的大坝建筑高峰期^[16]。经过几十年的发展，生态环境需水量研究已积累了较多的成果。目前，关于湿地生态环境需水量研究的成果主要集中在河流生态环境需水量上，其中关于生态环境需水量评估方法占较大的比重。关于河流生态环境需水量研究的综述分析，也主要是针对生态环境需水量评估方法进行梳理的^[17-19]。本节主要介绍国内和国外关于湿地生态环境需水量的研究现状，在论述生态环境需水量研究的历史和现状的基础上，整理湿地生态环境需水量的研究成果，通过系统的综述湿地生态环境需水量的研究现状，揭示目前湿地生态环境需水量研究面临的主要问题。

一、国外研究现状

生态环境需水量是在水资源开发利用活动挤占生态系统用水并造成生态系统退化的背景下提出的，而生态环境需水量的评估与保障也主要是为水资源管理活动提出的命题。因此，生态环境需水量研究进展与水资源管理的进展紧密相关。

早在 20 世纪 40 年代，随着水库的建设和水资源开发利用程度的提高，美国的资源管理部门就开始关注渔场减少的问题。美国鱼类和野生动物保护协会开始对河道内流量与鱼类生长繁殖、产量的关系进行研究，提出了河道最小生态或环境的概念。在 20 世纪 70 年代后，澳大利亚、加拿大、法国和南非等国家针对河

流生态系统,比较系统地开展了鱼类生长繁殖、产量与河流流量关系的研究,生态环境需水逐步发展起来^[20,21]。为了保护水生生物或生态环境,通常是基于河流物理形态、无脊椎动物和鱼类确定最小或最佳的生态环境需水量。但是,这一流量仅仅考虑了渔业的流量需求,并没有体现生态系统的完整性。直到 20 世纪 90 年代以来,随着国际水文计划等大型项目的推进,水资源和生态环境的相关性研究,特别是生态系统需水量研究才正式成为全球关注的焦点。

Rashi 等较早提出,为了保证水资源的可持续利用,要有足够的水量来满足河流、湖泊和湿地生态系统的要求,但并没有给出明确的概念和计算方法^[22]。Baird 等针对各类型生态系统(旱地、林地、河流、湖泊、淡水湿地等)的基本结构和功能,较为详细地分析了植物与水文过程的相互关系,强调了水作为环境因子对自然保护和恢复所起到的巨大作用。尽管没有将生态环境需水量作为研究对象,但许多相关的思想、原理和方法在很大程度上推动了生态环境需水量的研究和发展方向^[23,24]。Thomas 提出应用雨水改善水量和水质从而达到修复并建设湿地的目的,并指出在不同的水平年及在不同的月份,雨水径流都是不同的,应根据径流量的变化来确定修复湿地的水量,由此建立模型进行计算^[25]。

湿地生态环境需水量的具体研究是在人类认识到湿地价值以后才开始的,1998 年澳大利亚的“环境流量评估技术的全面评估”项目和 1999 年南非的“RMD”项目都对湿地生态环境需水量进行了特别的关注。2002 年,在西班牙瓦伦西亚召开的《Ramsar 湿地公约》第八次缔约方大会(Common Open Policy Service, COPS)上,Mackay 等描述了湿地生态环境需水量的分配和管理的步骤、策略和工具,同时,多变环境条约为缔约方各国提供了实施指南^[26,27]。目前,国外关于湿地生态环境需水量的具体研究方法并不多见,相比之下,国内提出了多种具体方法,基本上来说,用于河流生态环境需水量的方法和原理同样适用于湿地生态环境需水量的计算^[28]。然而,湿地生态环境需水量计算方法与河流生态环境需水量计算方法也有差别,主要差别在于:河流生态系统需水主要是以点和线为控制的环境结构,而湿地生态系统主要是以面域特征为控制的环境结构^[29]。所以在分类方法上,湿地生态需水的分类与河流生态环境需水量的分类也有所不同^[30,31]。由于目前的湿地水文数据及生态数据相当缺乏,尤其对于发展中国家而言更是如此,数据的可靠性和丰富性是在开发生态环境需水量计算方法时必须考虑的因素。因此,本章按照生态环境需水量计算方法所需数据类型不同进行分类,如果该方法所需数据主要为水文数据,则称为水文驱动法;如果该方法所需数据主要为生态数据,