

宁夏自然科学基金项目 (NZ12217)

宁夏教育厅高校重点项目 (NGY2012123)

宁夏大学优秀博士论文培养项目



YINCHUAN PINGYUAN BUTONG LEIXING SHIDI
TANHUI PINGGU YANJIU

银川平原不同类型湿地 碳汇评估研究

卜晓燕◎著



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社



作者简介

卜晓燕，1979年9月出生，宁夏隆德人。博士，中国科学院地理科学与资源所博士后。主要从事区域经济与空间发展规划、生态经济、产业经济、区域资源环境规划与评估等研究。主持宁夏自然科学基金项目1项，主持厅局级项目3项，参与课题研究20余项，完成专著1部，参编著作3部，公开发表学术论文20余篇。获中国自然资源学会青年优秀学术论文一等奖2项、宁夏自然科学优秀学术论文三等奖1项，2015年被评为宁夏职业技术学院优秀科技工作者。

责任编辑 周淑芸
封面设计 石 磊

银川平原不同类型湿地 碳汇评估研究

YINCHUAN PINGYUAN BUTONG LEIXING SHIDI
TANHUI PINGGU YANJIU



ISBN 978-7-227-06592-0



9 787227 065920 >

定价：68.00元

宁夏自然科学基金项目 (NZ12217)

宁夏教育厅高校重点项目 (NGY2012123)

宁夏大学优秀博士论文培养项目

YINCHUAN PINGYUAN BUTONG LEIXING SHIDI
TANHUI PINGGU YANJIU

银川平原不同类型湿地 碳汇评估研究

卜晓燕◎著



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

银川平原不同类型湿地碳汇评估研究 / 卜晓燕著. —
银川: 宁夏人民出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-227-06592-0

I. ①银… II. ①卜… III. ①沼泽化地—二氧化碳—
资源利用—评估—研究—银川 IV. ①P942.431.78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 326438 号

银川平原不同类型湿地碳汇评估研究

卜晓燕 著

责任编辑 周淑芸
封面设计 石磊
责任印制 肖艳



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

出版发行

出版人 王杨宝
地址 宁夏银川市北京东路 139 号出版大厦(750001)
网址 <http://www.nxpph.com> <http://www.yrpubm.com>
网上书店 <http://shop126547358.taobao.com> <http://www.hh-book.com>
电子信箱 nxrmcbs@126.com renminshe@yrpubm.com
邮购电话 0951-5019391 5052104
经销 全国新华书店
印刷装订 宁夏凤鸣彩印广告有限公司
印刷委托书号 (宁)0004013

开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 12 字数 260 千字
版次 2016 年 12 月第 1 版
印次 2016 年 12 月第 1 次印刷
书号 ISBN 978-7-227-06592-0
定价 68.00 元

版权所有 侵权必究

序 一

碳汇是当前国际学术界研究的前沿问题之一,也是全球关注的热点问题。湿地是地球表层的重要碳汇,对于吸收大气中的温室气体,减缓全球气候变暖具有重要作用,在全球碳循环中的作用受到世界各国政府和学术界的广泛关注,湿地生态系统碳储量及碳汇功能研究已成为全球变化科学领域的热点问题。

卜晓燕博士长期致力于湿地和草地生态系统研究,取得了创新性进展。《银川平原不同类型湿地碳汇评估研究》就是她多年潜心研究的一个创新性成果。该书具有以下特点和创新:

选题新颖,意义重大。湿地作为隐域性生态系统类型而广泛分布,因而成为各个地带中最为活跃的生态系统而引起学术界的广泛关注。湿地也因具有良好的第一性生产力而在碳汇方面具有突出地位。湿地碳汇是陆地碳汇的重要组成部分。银川平原因黄河灌溉之利,不仅造就了“天下黄河富宁夏”的“塞外江南”,而且形成了分布较广的湿地景观,湿地碳汇功能良好。本研究具有重要的理论和现实意义。

方法先进,分析深入。该研究以演替理论、碳汇理论、生态发展理论等为指导,采用遥感全面调查与样地抽样调查相结合的方法,构建了适合区域特点的湿地植被生物量、植被碳含量、土壤碳密度最优遥感估测模型,系统评估了银川平原湿地生态恢复与保护措施实施前期(2000年)、中期(2005年和2010年)和近期(2014年)的碳汇功能,首次综合运用多种方法开展了湿地碳储量及其时空演化规律研究、湿地碳汇功能评估和增汇途径研究。研究成果对提升区域碳汇能力、认知碳循环规律、增加碳汇、维持区域生态平衡具有重要的实践和理论价值,对进一步研究全球气候变化背景下区域湿地碳功能动态测评和碳循环研究提供了可供借鉴的创新方法。

区域重要,案例典型。本研究区域选择中国西北地区东部的宁夏银川平原区,这里是气候变化的敏感区和生态环境脆弱区,湿地广布。银川平原湿地生态系统是西北旱区湿地生态系统的典型代表,湿地类型以河流、湖泊、沼泽为主,其与湿润区湿地的成因和特

点截然不同,主要依托黄河及其排灌体系形成和消长,季节性明显,在分布上呈明显的不连续和地域性,是西北干旱半干旱区人工绿洲生态系统的重要组成部分,是黄河中上游重要的保水、蓄水和调水基地,也是全球范围内荒漠半荒漠地区少见的具有生物多样性和环境保护等多功能的重要湿地,具有独特的湿地过程和重要的生态区位。作者以该区域湿地碳汇能力评估为研究案例,研究结论具有重要的应用价值,同时对其他地区研究具有重要的示范作用。

数据翔实,结论正确。该项研究工作扎实,表现出作者潜心科研、深入实地、坚持探索、追求科学的精神。作者多年扎根所在研究区,不断积累,构建了湿地碳汇功能评估的科学方法。特别是在银川平原开展了持久的野外工作,从湿地采样、科学试验到应用现代信息技术进行定位观测、卫星影像解译,开展了细致的信息、实验、数据获取工作。在获取第一手资料、数据的基础上,综合运用各种方法进行计算、分析,深入剖析、总结,得出了许多有创新意义的结论。这些结论包括两个方面:第一,银川平原湿地碳汇能力提升,恢复与保护工程取得了良好碳汇效应;银川平原湿地碳汇能力经历了先下降后上升的过程,整体呈上升趋势。第二,从银川平原河流、湖泊、沼泽、人工湿地四类湿地来看,四类湿地呈现先减少后增加的趋势,整体呈现增加趋势;四类湿地碳汇量贡献量排序为:沼泽>湖泊>人工湿地>河流。第三,从7个重点湿地来看,碳汇量贡献量排序为:青铜峡库区>吴忠黄河湿地>沙湖>阅海>星海湖>鸣翠湖>黄沙古渡。这些结论对调整湿地管理和恢复与保护工程的实施具有指导作用。

《银川平原不同类型湿地碳汇评估研究》是一部兼具学术价值和应用价值的研究成果,是碳汇功能评估理论与方法研究领域的一部重要著作。

衷心祝贺本书的出版。我相信本书的问世必将促进对西北干旱半干旱区乃至国内碳循环和碳汇研究理论方法的进一步探索,也为全国类似湿地管理和恢复与保护工程提供指导和借鉴。我期盼作者及同行专家在这个领域继续探索,不断创新,取得更多优秀成果。

中国科学院地理科学与资源研究所研究员、博士生导师 董锁成

2016年12月13日于北京

序 二

湿地是全球重要的碳汇，是单位面积碳储量最大和碳积累最快的陆地生态系统，对全球气候变化具有重要的影响。湿地生态系统也是一种脆弱的生态系统，近年来随着经济发展对土地需求的日益增加，大片湿地滩涂逐年被转变成盐池、水产养殖地、农田、休闲娱乐区和工业区，湿地逐渐被吞噬，使之失去碳汇功能，并转换成碳源。数据显示，过去100年中，全球大约半数湿地遭破坏。在亚洲和其他一些地区，沿海湿地以每年1.6%的速度消失，1980年以来，红树林覆盖面积减少20%（大约360万公顷），近来以每年多至1%的速度消失。全国湿地调查表明，中国现存自然或半自然湿地仅占国土面积的3.77%（全球湿地约占陆地面积的6%），而且自然湿地明显减少，减少的趋势还未得到有效遏制。因此，湿地的保护和恢复已经成为当今科学界、各国政府及相关国际组织极为关注的问题。

《银川平原不同类型湿地碳汇评估研究》一书是卜晓燕博士在她的博士论文的基础之上改写而来的。本书最主要的创新点是利用遥感模型对银川平原湿地植被生物量、碳储量和碳密度进行时空变化研究与预测，为宁夏湿地生态系统碳汇功能研究提供较为科学、准确的数据，研究结论可为区域湿地生态保护和政府碳减排规划提供科学依据。在宁夏湿地研究中，一些学者对宁夏湿地土壤和植被碳储量及碳密度有所涉及，但从未对河流、沼泽、湖泊、人工四类湿地的碳储量和碳密度进行系统分析与研究，本研究应用银川平原湿地恢复与保护工程实施前期（2000年）、中期（2005年、2010年）、后期（2014年）4个时期的卫星遥感影像，结合实地调查采样数据，对4个时期银川平原湿地碳汇能力进行系统研究，这也是本书的重要特色。

该书内容丰富，观点明确，研究方法科学，各部分逻辑性强。采用遥感影像数据和实测数据构建了银川平原四类湿地碳含量遥感估测模型，利用该模型对银川平原湿地植被生物量、湿地碳储量进行了估测，并分析了其时空动态变化特征；全方位阐述了银川平原

各市区湿地碳储量空间分布特征;分析评述了重点湿地碳储量的空间分布特征和时空变化规律;在此基础上评估了银川平原湿地碳汇能力,并分析了银川平原湿地造碳植物对大气 CO₂ 吸收与固定;最后基于评估的结果提出了银川平原湿地增汇途径和对策措施。

本书是作者近年来研究湿地碳汇最新的、系统的总结,对湿地科学、生态系统碳汇等的研究都具有重要的理论和实践价值。

宁夏大学资源环境学院教授、博士生导师 米文宝

2016 年 12 月 10 日

前 言

湿地是自然界重要的生态系统类型,湿地生态系统碳汇研究是定量评估区域生态系统碳汇的基础,是生态系统与全球变化科学研究的重要前沿科学问题,受到国内外学者的广泛关注。当前,开展区域湿地生态系统碳汇评估研究,无论是对温室气体的有效管理,还是对生态系统与全球变化科学的发展都具有重要意义。

宁夏银川平原位于地球环境变化速率较大的大陆性干旱气候区,就其环境本身而言,具有时间和空间格局的复杂性、多样性和变异性;就其对外界环境变化的响应和适应能力而言,具有敏感性和脆弱性。同时,目前银川平原地区又处于快速工业化和城镇化发展阶段,人类活动强度大,对环境的干扰尤为突出。这些都导致银川平原湿地生态系统碳循环过程极其复杂。因此,深入开展银川平原湿地生态系统碳汇研究,不仅为宁夏参与应对全球气候变化国际合作、改进湿地生态系统管理、动态监测区域湿地碳汇功能、促进区域湿地碳循环、提升区域碳汇能力提供理论和方法创新,同时为我国湿地碳汇功能研究提供科学依据和理论指导,对进一步研究全球气候背景下的湿地碳动态测评具有参考意义。

目前,湿地生态系统是被公认的大气碳汇,增强湿地生态系统的碳固定、减少碳排放,以提高生态系统碳汇功能是温室气体管理的重要技术途径。自 20 世纪 80 年代中后期开始,国内学者已经在湿地生态系统碳汇研究的理论与方法方面开展了大量的工作,并取得了许多研究成果。本研究通过多年致力于湿地碳汇功能研究,积累了大量观测和研究数据与研究成果。

本书基于国内外相关领域的研究成果,系统地研究了银川平原湿地碳汇能力评估。绪论介绍了湿地碳汇研究的背景、目的意义、国内外研究现状、碳汇研究理论基础及相关概况和研究思路;第一章介绍了主要研究方法、野外调查和采样、实测数据和遥感影像数据的处理分析方法、空间分析方法等;第二章介绍了研究区基本情况、湿地生态建设及成效;第三章运用 ARCGIS 和 ENVI 软件,结合遥感影像数据和实验数据构建了不同类型湿地生物量及碳含量遥感估测模型;第四章运用遥感估测模型估测了银川平原湿地植被生物量,并用地理信息系统的空间分析方法分析了生物量的时空动态变化;第五章运用遥感估测模型估测了湿地植被碳含量,并用空间分析方法分析了植被碳含量的时空动态

变化;第六章运用遥感估测模型和空间分析方法分析了湿地土壤有机碳特征、时空动态变化规律及土壤有机碳环境影响因子;第七章对银川平原湿地碳储量、时空动态变化规律和影响因素进行了研究;第八章基于上述研究结果,采用基于 IPCC 规则的库—差别法和相对碳汇能力、绝对碳汇能力评估了湿地碳汇能力,并评估了固碳释氧能力。第九章基于评估结果,提出了银川平原地区湿地增汇的途径和对策建议。第十章是本研究的主要结论和尚需进一步研究的问题。

本书观点新颖,数据翔实可靠,理论和实践紧密结合,在理论和方法上有所创新。可为政府部门决策和从事生态建设、湿地恢复保护及湿地资源管理、碳汇研究的专家学者提供参考。

湿地碳汇能力评估研究是一个涉及内容十分复杂的课题,由于作者研究能力和水平有限,对湿地碳汇能力研究涉足不深,因此书中文字表述、研究方法、研究结论等可能会有不当之处,敬请专家学者、领导和广大读者批评指正。

卜晓燕

2016 年 12 月

CONTENTS

目 录

绪 论	1
0.1 研究背景	1
0.2 研究目的和意义	2
0.3 相关概念与理论动态	3
0.4 湿地生态系统碳储量与碳汇研究现状	12
0.5 研究思路与技术路线	20
0.6 本研究的创新点	23
第一章 研究方法	24
1.1 野外调查与采样	24
1.2 实测样点数据处理	26
1.3 遥感影像数据处理	28
1.4 数据分析	36
1.5 空间分析方法	38
第二章 研究区概况	39
2.1 研究区概况	39
2.2 银川平原湿地概况	39
2.3 银川平原湿地生态建设及成效	44
第三章 不同类型湿地生物量及碳含量遥感估测模型构建	45
3.1 遥感特征因子提取及处理	45
3.2 植被生物量与遥感因子相关性分析	49

3.3 湿地植被地上生物量 RS-MLRM 构建	58
3.4 不同类型湿地植被碳含量估测模型	67
3.5 不同类型湿地土壤有机碳估测模型构建	69
3.6 小结	76
第四章 不同类型湿地植被生物量及时空动态变化	77
4.1 不同类型湿地生物量特征分析	77
4.2 不同类型湿地生物量空间分布特征	80
4.3 不同类型湿地植被生物量年际变化	87
4.4 重点湿地植被生物量及动态变化	90
4.5 讨论	91
4.6 小结	93
第五章 不同类型湿地植被碳含量及时空动态变化	94
5.1 不同类型湿地植被碳含量特征分析	94
5.2 不同类型湿地植被碳含量年际变化	96
5.3 重点湿地植被碳含量及动态变化	97
5.4 不同类型湿地植被碳含量的空间分布	98
5.5 植被有机碳含量的影响因素分析	102
5.6 小结	103
第六章 不同类型湿地土壤有机碳特征及时空动态变化	104
6.1 不同类型湿地土壤有机碳含量分布及变化	104
6.2 土壤有机碳密度分布及变化	106
6.3 不同类型湿地土壤碳密度空间变化分析	110
6.4 土壤有机碳环境影响因子	113
6.5 小结	117
第七章 不同类型湿地碳储量及时空动态变化	118
7.1 湿地植被碳储量分析	118
7.2 银川平原湿地土壤碳储量	122
7.3 银川平原湿地总碳储量时空动态变化	126
7.4 不同类型湿地碳储量的影响因素	138

7.5 讨论	142
7.6 小结	144
第八章 不同类型湿地碳汇能力评估	146
8.1 湿地碳汇能力分析评价	146
8.2 基于 IPCC 规则的库—差别法的碳汇量测评	148
8.3 不同类型湿地固碳释氧能力测评	150
8.4 湿地碳汇功能经济效益评价	156
8.5 讨论	159
8.6 小结	159
第九章 基于评估结果的湿地增汇途径与对策建议	162
9.1 银川平原湿地生态系统增汇途径	162
9.2 银川平原湿地生态系统增汇措施	164
第十章 结论和尚需进一步研究的问题	166
10.1 主要结论	166
10.2 尚需进一步研究的问题	167
参考文献	169
后记	180

绪 论

0.1 研究背景

近年来,气候变化和温室气体减排问题持续升温,已成为全球关注的热点问题,欧盟等西方发达国家日益将全球变暖问题提升为政治、经济问题,并以制度创新和技术创新为导向调整本国的能源、经济战略。^[1]

2007 年 11 月,联合国政府间气候变化专门委员会第四次评估报告书指出^[2],全球变暖的主要原因是温室气体的增加,而二氧化碳是最主要的温室气体之一。自工业革命以来,人类大规模的开发活动使得以化石形式存在的碳大量转移到大气中成为温室气体,同时土地利用失当又使得植被吸收碳的能力降低,从而改变了地球上碳的存在形式,导致大气中温室气体浓度持续增高,引起全球气候变暖。这将对人类赖以生存的自然生态系统及人类的生命健康和财产安全带来威胁,成为人类实现经济社会可持续发展的重大挑战。^[3] 因此,降低大气中温室气体的浓度成为保护我们共同的地球,实现区域经济社会生态可持续发展的客观需要。

湿地在碳循环中的作用受到世界各国政府和学术界的广泛关注,湿地碳汇能力研究成为全球变化科学领域的热点问题^[4,5]。我国西部尤其是西北干旱半干旱地区,生态气候环境很差,地方经济基础薄弱,科学技术相对滞后,要想实现该地区社会、经济的可持续发展,必须认真研究在全球变化的大背景下,该地区生态、气候环境形成的内在机理与外部原因、历史演变规律及未来发展趋势。

宁夏地处干旱半干旱地区,是气候变化的敏感区和生态环境的脆弱区。受全球气候变化的影响,宁夏温度升高,降水量减少,干旱化程度加重。近 50 年来,宁夏的年平均气温显著上升,年平均气温每 10 年增温达 0.388℃。升温最明显的地区是引黄灌区,升幅最大的季节是冬季。降水呈下降趋势,从季节分布看,冬季降水呈增加趋势,其他季节降水呈下降趋势。银川平原湿地生态系统是西北旱区湿地生态系统的典型代表,湿地类型以河流、湖泊和沼泽为主,其与湿润区湿地的成因和特点截然不同,主要依托黄河及其灌

排体系而形成和消长,季节性明显,在分布上呈明显的不连续性和地域性。是西北干旱半干旱地区人工绿洲生态系统的有机组成部分,是黄河中上游重要的保水、蓄水和调水基地,也是全球范围内荒漠半荒漠地区少见的具有生物多样性和环境保护等多功能的重要湿地,具有独特的湿地过程和重要的生态区位,并与荒漠基质有着十分密切的生态联系。^[5]宁夏70%的湿地分布在银川平原,随着全球气候变化及黄河来水量的变化,工业化、城镇化、经济建设加速发展以及围垦、养殖,特别是农业开垦和水系治理,国家主体功能区、重点开发区、沿黄经济区建设,宁夏内陆开放型经济特区建设,宁东能源化工基地建设等系列活动的加剧,湿地生态系统受到人类活动影响较大,银川平原湿地面临新的严峻形势。过度开发利用等情况时有发生,湿地生物多样性受到逐渐退化的威胁。在旱区气候变化及人类干扰双重影响下,提高湿地碳汇能力是当前亟待解决的重要科学问题^[4]。

0.2 研究目的和意义

随着全球气候变暖的加剧,温室气体的减排工作引起越来越多学者的关注,提高陆地生态系统固碳能力成为学术界关注的热点问题。^[6]湿地具有较高的初级生产力,湿地植物通过光合作用固定大气中的 CO_2 ,湿地植被储碳固碳功能在稳定全球气候方面发挥了重要作用。湿地生态系统是地球上单位面积固碳能力最强、生物多样性保护最大的生态系统。^[7]湿地具有巨大的生态环境功能,一方面因储存着大量的碳而具有碳“汇”的特征,另一方面因温室气体的释放源而具有碳“源”的特性,因此它具有碳源、碳汇的双重性。^[4,8]因此,深入开展湿地碳储量及碳汇研究,对于量化全球气候变化条件下绿洲湿地碳汇功能具有重要的科学意义和实践意义。

旱区内陆湿地是我国重要的湿地类型之一,多分布于绿洲、河滩等生态环境敏感地带,一旦破坏很难恢复。^[9]在干旱区以水为纽带的物质循环中,湿地的类型、分布、成因及演变等均具有鲜明的区域特色,湿地对旱区的生态与环境变化有着直接的作用和重大的影响,并与地区经济发展密切相关。银川平原地处干旱半干旱地区,是气候变化敏感区和生态环境脆弱区。受全球气候变化的影响,近几十年来,宁夏温度升高,降水量减少,干旱化程度加重,极端天气气候事件增加,生态系统的风险性进一步加大。为了适应气候变化,宁夏采取了湿地恢复与保护、天然林资源保护、“三北”防护林体系建设、退耕还林、防沙治沙、生态移民等生态建设与保护措施。2002年以来,宁夏加强湿地保护与恢复工作,实施了艾依河连通主要湖泊、大小西湖连通等水系建设和湿地恢复工程,从根本上解决了区域自然湿地萎缩的状况,湿地生态环境建设取得了显著成就,其生态效益、经济效益、社会效益、环境效益、固碳效益等逐渐显现。“十三五”期间,宁夏进一步加大湿地生态