



南四湖湿地系统 生态环境演变研究

杨 俊 席建超 李雪铭 李永化 张 峰 等◎著

 科学出版社

南四湖湿地系统生态环境演变研究

杨 俊 席建超 李雪铭 李永化 张 峰 等 著

国家科技支撑计划 (2012BAC04B00)

国家自然科学基金 (41471140)

资助出版

地理学辽宁省重点学科

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是国家科技支撑计划(2012BAC04B00)专题一“南四湖核心区生态系统评估与演变趋势研究”的成果之一。全书共11章,根据南四湖湿地生态系统的生态环境特征与演变过程,采用定性定量相结合的方法,理论结合实际,从土地资源、生物多样性、生态健康、生态脆弱性、生态服务功能、管理空间决策支持系统等方面,系统研究了近30年南四湖湿地生态系统的时空演变过程与机理,为南四湖的可持续发展提供科学的决策与支撑。

本书可供湿地科学、地理学、环境科学、生态学等专业的高校教师和科研院所的研究人员使用,同时也可供相关专业的研究生使用。

图书在版编目(CIP)数据

南四湖湿地生态系统生态环境演变研究/杨俊等著. —北京:科学出版社, 2015.4

ISBN 978-7-03-043916-1

I. 南… II. 杨… III. 南四湖—沼泽化地—生态环境—演变—研究
IV. P942.524

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第055315号

责任编辑:张 菊/责任校对:邹慧卿

责任印制:徐晓晨/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>

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

*

2015年4月第 一 版 开本:720×1000 B5

2015年4月第一次印刷 印张:17 5/8 插页:2

字数:360 000

定价:148.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

湿地与人类的生存、繁衍、发展息息相关，是人类拥有的宝贵资源，是自然界最富有生物多样性的生态景观和人类最重要的生存环境之一。湿地与森林、海洋并称为全球三大生态系统，湿地不仅为生产、生活提供多种资源，而且具有显著的环境功能和生态效益，具有其他系统不可替代的作用。湖泊湿地系统生态环境问题，特别是内陆发达区域的湖泊湿地系统生态环境问题已成为各国可持续发展研究的一个重要课题，引起了国内外学者的高度关注。南四湖作为我国北方最大的内陆淡水湖，以及南水北调东线工程主要的调蓄枢纽之一，既肩负着保护环境安全、提供生态系统服务的重大使命，又承载着促进区域经济社会发展的重要功能。然而，自20世纪80年代以来，由于经济、社会等多方面因素的影响，南四湖淤积湿地面积萎缩，蓄水量波动起伏，水质污染严重，其湿地资源的过度开发利用，使南四湖的生态系统结构受损，生物多样性降低，导致湖泊生态功能退化，湖泊生态系统的敏感性、脆弱性趋势凸显，湿地生态、经济和社会效益显著降低，生态环境问题日益突出。本书通过地理信息系统、遥感等新技术手段，全面掌握南四湖近30年的资源与环境情况，分析其内在的成因与机理，从而为南四湖的可持续发展提供科学的决策与支撑。

本书针对南四湖环湖堤岸塌陷、景观性较差，湿地生态系统脆弱、系统逆向演化，水质污染严重，水体稀释自净能力差、淤积严重，环湖周边地区产能落后等生态环境问题，以笔者主持的历时4年的国家科技支撑计划(2012BAC04B00)专题一“南四湖核心区生态系统评估与演变趋势研究”的前期研究成果为基础，根据南四湖湿地生态系统的生态环境特征与演变过程，采用定性与定量相结合的方法，理论结合实际，从土地资源、生物多样性、生态健康、生态脆弱性、生态服务功能、管理空间决策支持系统等方面，系统研究了近30年南四湖湿地生态系统的时空演变过程与机理。

本书具体章节编写分工如下。

第1章由席建超、杨俊撰写；第2章由那楠、赵红丹撰写；第3章由李闯、杨俊撰写；第4章由杜婷、张峰撰写；第5章由单灵芝、杨俊撰写；第6章由高航、李永化撰写；第7章由杨俊、张峰撰写；第8章由李雪铭、张峰撰写；第9

章由高航、李月辰撰写；第 10 章由李闯、孔凡强撰写；第 11 章由陈飞、杨俊撰写。

在课题立项与研究过程中，得到了济宁市科技局领导、山东省鲁南工程技术研究院相关领导的大力支持和帮助。在课题调研时得到了微山县、鱼台县以及相关县区领导的大力支持和帮助。

本书部分内容包含李雪铭教授、杨俊副教授的研究生的前期研究成果以及国家科技支撑计划协作单位的成果，在这里一并致谢。本书的出版得到了国家科技支撑计划、国家自然科学基金以及地理学辽宁省重点学科的支持，还得到了中国科学院地理科学与资源研究所、山东省鲁南工程技术研究院、济宁市科技局、济宁市国土资源局、济宁市环境保护局、辽宁师范大学以及参与课题的相关单位的大力支持。

本书在编写过程中得到了中国科学院地理科学与资源研究所葛全胜研究员的悉心指导，同时在实地调查与数据收集等方面得到了博士后刘俊、张瑞英，硕士生孔钦、王新歌的大力支持，博士生张峰，硕士生李月辰、孔凡强、杜婷、单灵芝、高航、李闯、陈飞、那楠、赵红丹在数据处理与制图、文稿编辑与整理等方面做了大量的基础性工作，在此，谨向他们付出的辛勤劳动表示真诚的感谢。

本书在写作过程中参考了许多专家学者的论著和科研成果，特别是关于南四湖的研究成果，书中对引用做了详细的注明，但仍恐有挂一漏万之处，敬请多加包涵。由于作者的时间和水平有限，书中难免存在疏漏之处，还请读者不吝指教。

杨 俊

2014 年 11 月 30 日

目 录

1	内陆湖泊湿地生态系统研究进展	1
1.1	内陆湖泊湿地生态系统概况	1
1.2	国内湖泊湿地生态系统研究进展	3
1.2.1	湿地生态系统服务价值评价	3
1.2.2	湿地生态系统健康评价	6
1.2.3	湿地生态系统脆弱性	7
1.2.4	湿地生物多样性	8
1.2.5	湿地景观	9
1.3	国外湖泊湿地生态系统研究进展	10
1.3.1	湿地生态系统服务价值评价	10
1.3.2	湿地生态系统健康评价	11
1.3.3	湿地生态系统脆弱性	12
1.3.4	湿地景观	13
	参考文献	14
2	南四湖湿地系统生态环境概况	24
2.1	自然环境概况	24
2.1.1	自然地理基础	24
2.1.2	地质与地貌	25
2.1.3	气候与水文	25
2.1.4	植被与土壤	26
2.2	社会经济发展概况	27
2.2.1	人口与民生	27
2.2.2	产业基础与经济发展	29
2.2.3	资源开发与环境整治	31
2.3	南水北调工程与南四湖湿地	32
2.3.1	对生态环境的影响	33
2.3.2	对经济发展的影响	33

2.3.3	对居民生活的影响	34
	参考文献	34
3	南四湖数据与资源调查	36
3.1	南四湖遥感影像及土地利用数据概况	36
3.1.1	1980 ~ 2012 年南四湖土地利用格局演变数据说明	37
3.1.2	1982 ~ 2012 年南四湖湿地景观格局演变数据说明	49
3.2	南四湖样方资源调查	59
3.2.1	南四湖样方水体环境调查	59
3.2.2	南四湖样方基本情况调查	70
	参考文献	100
4	南四湖自然水域演化	102
4.1	南四湖形成与历史演变	102
4.2	研究区域与数据来源	103
4.2.1	研究区域	103
4.2.2	数据来源	105
4.3	研究方法与技术路线	106
4.3.1	研究方法	106
4.3.2	技术路线	107
4.4	南四湖近 30 年自然水域演化	108
4.4.1	南四湖自然水域面积总量变化分析	108
4.4.2	南四湖自然水域景观分形维数变化分析	111
4.4.3	南四湖自然水域变化强度分析	112
4.4.4	南四湖自然水域结构转变类型分析	113
4.4.5	南四湖自然水域变化机制分析	114
4.5	本章小结	115
	参考文献	116
5	南四湖湿地土地利用格局演变模拟预测与生态效应	119
5.1	土地利用格局变化概述	119
5.2	研究区域与数据来源	120
5.2.1	研究区域	120
5.2.2	数据来源	121
5.3	研究方法及技术路线	123
5.3.1	研究方法	123

5.3.2 技术路线	125
5.4 土地利用格局变化分析	126
5.4.1 土地利用动态度分析	126
5.4.2 土地利用结构变化分析	128
5.5 土地利用格局驱动机制分析	131
5.5.1 自然驱动力	131
5.5.2 人为驱动力	132
5.6 土地利用格局变化模拟预测	132
5.7 生态效益分析	135
5.8 本章小结	136
参考文献	137
6 南四湖湿地景观格局演变	140
6.1 湿地景观格局概述	140
6.2 湿地景观格局指数	141
6.3 湿地景观格局指数选取	142
6.4 实例分析	142
6.4.1 研究区域	142
6.4.2 数据来源与处理	144
6.4.3 技术路线图	145
6.4.4 南四湖湿地景观格局动态变化分析	145
6.4.5 南四湖湿地景观格局指数分析	148
6.5 本章小结	153
参考文献	154
7 南四湖湿地生态系统健康评价	157
7.1 湖泊湿地生态系统健康的概念与内涵	157
7.2 研究方法	158
7.2.1 指示物种法	158
7.2.2 结构功能指标体系法	159
7.2.3 多元集对分析模糊评价模型	159
7.2.4 BP 神经网络评价	160
7.2.5 健康距离法 (HD)	160
7.3 指标体系	161
7.3.1 物化指标	161

7.3.2	生态指标	162
7.3.3	人类健康和社会经济指标	162
7.4	湿地生态系统健康评价理论模型的构建	163
7.5	基于健康距离法的南四湖湿地生态系统健康评价	164
7.5.1	研究区域概况	164
7.5.2	健康距离法及其改进	165
7.5.3	指标体系的构建	167
7.5.4	指标体系的度量	170
7.5.5	评价结果	173
7.5.6	结果分析	173
7.6	结论与对策	175
	参考文献	175
8	南四湖湿地生态脆弱性评价	179
8.1	脆弱性的概念和内涵	180
8.2	脆弱性评价	182
8.3	湿地脆弱性评价	185
8.4	研究方法	186
8.4.1	湿地分类	186
8.4.2	研究方法	186
8.4.3	数据来源与处理	189
8.5	湿地生态脆弱性评价结果	189
8.5.1	指标提取	189
8.5.2	南四湖湿地生态脆弱性评价结果分析	193
8.6	结论	195
	参考文献	196
9	南四湖湿地生态系统服务功能评价	201
9.1	湿地生态系统服务功能的理论基础	201
9.2	主要研究进展和方法	202
9.3	研究区域与方法	203
9.3.1	研究区域概况	203
9.3.2	数据来源与处理	204
9.3.3	南四湖生态系统服务的主要功能	206
9.3.4	研究方法	208

9.4	南四湖湿地生态系统服务功能价值结果	209
9.4.1	南四湖湿地生态系统服务功能估算	209
9.4.2	南四湖湿地生态系统服务功能价值结果与分析	213
9.5	结论与讨论	216
	参考文献	216
10	南四湖湿地生态环境变化趋势分析	219
10.1	南四湖湿地生态环境变化	219
10.1.1	土地利用	220
10.1.2	水环境	221
10.1.3	湿地景观	235
10.1.4	湿地生态系统服务价值	237
10.2	结论与对策探讨	238
	参考文献	240
11	南四湖湿地管理空间决策支持系统	242
11.1	系统概述	242
11.2	系统设计	243
11.2.1	系统目标与需求分析	243
11.2.2	系统总体结构设计	244
11.2.3	系统功能模块划分	244
11.2.4	系统的实现技术条件	246
11.2.5	系统界面设计	248
11.3	系统主要功能的实现与应用	250
11.3.1	地图浏览功能	250
11.3.2	数据管理功能	251
11.3.3	信息查询功能	262
11.3.4	空间分析功能	264
11.3.5	生态评价功能	267
11.4	小结	270
	参考文献	270

彩图

内陆湖泊湿地生态系统研究进展

1.1 内陆湖泊湿地生态系统概况

湿地是位于陆生和水生生态系统之间的过渡性地带，是常年积水和过湿的土地。它广泛分布于世界各地，具有强大的生态净化作用，是地球上一种独特的、多功能的生态系统。湿地的定义基本上可以分为两大类（吕宪国和黄锡畴，1998）。

1) 从科研的角度，1979年在《美国的湿地深水栖息地的分类》一文中，鱼类和野生生物保护机构将湿地定义为“陆地和水域的交汇处，水位接近或处于地表面，或有浅层积水，至少有一至几个以下特征：①至少周期性地以水生植物为植物优势种；②底层土主要是湿土；③在每年的生长季节，底层有时被水淹没”。该定义还指出了湖泊与湿地的界限——低水位时水深2m处。目前，该定义被许多国家的湿地研究者接受。

2) 从经营管理者的角度，《湿地公约》中将湿地定义为“天然或人工、长久或暂时的沼泽地，泥炭地，流动或静止的淡水、半咸水、咸水水域，包括低潮时水深不超过6m的海水区域”。目前，各领域对湿地的认识不同，定义也较多，但总的来说，可以认为湿地是具有较多水分（积水或过湿）、独特土壤（水成土、半水成土）和适水生物活动的独特景观。

湿地生态系统不仅能为野生动物提供栖息地，而且能为人类提供淡水资源、渔业产品等生态产品，同时它还具有涵养水源、调节气候、净化水质等生态功能。全球湿地总面积为 $600 \times 10^4 \sim 800 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，这些生态系统都是自然资本丰富的来源（尹小娟等，2014）。

湿地的类型多样，一般分为自然湿地和人工湿地两类。自然湿地包括湖泊湿

地、河流湿地、沼泽湿地和滨海湿地等。人工湿地主要包括水稻田、水库、池塘等。其中,湖泊湿地包括湖滩地、河滩地,是受人类活动影响最大的一种湿地类型。我国现有湖泊 2.488×10^4 个,湖泊湿地总面积约 $1.2 \times 10^5 \text{ km}^2$ (表 1-1)。

表 1-1 湖泊湿地的分类

湿地类型	分类	特点
湖泊湿地	永久性淡水湖	常年积水的海岸带范围以外的淡水湖泊
	季节性淡水湖	季节性或暂时性的泛洪平原湖
	永久性咸水湖	常年积水的咸水湖
	季节性咸水湖	季节性或暂时性积水的咸水湖

湖泊湿地是动态性最强的一类生态系统,它对人地关系作用和生态环境变化有很强的响应作用。同时,湖泊湿地也是最具有生态调节和改善功能的一种湿地类型。我国的湖泊湿地分布广泛,且由于我国区域自然条件的差异,以及湖泊成因和演化阶段的不同,从而显示出不同区域湖泊湿地的特点和多种多样的湖泊湿地类型(表 1-2)。

表 1-2 湖泊湿地的分布

地区	分布
东部平原区	位于长江以及淮河中下游,黄河、海河下游以及大运河沿岸的大小湖泊,总面积为 22900 km^2 , 约占全国湖泊总面积的 28.1%, 湖泊率为 2.4%, 是我国湖泊分布密度最大的地区之一。鄱阳湖、洞庭湖、太湖、洪泽湖和巢湖五大著名的淡水湖位于本区。湖泊水情变化显著,生物生产力较高。受人类活动的强烈影响,湖泊面积和数量锐减,湖泊水体富营养化和水质污染逐渐加重
蒙新高原区	位于内陆,总面积为 16400 km^2 , 约占全国湖泊总面积的 20.1%, 湖泊率为 0.6%。气候干旱,降水稀少,地表径流补给不足,蒸发强度较大,超出湖水的补给量,湖水不断减少而发育成闭流类的盐湖或咸水湖
云贵高原区	淡水湖,总面积为 1200 km^2 , 约占全国湖泊总面积的 1.5%, 湖泊率为 0.3%。区内较大的湖泊都分布在断裂带或各大水系的分水岭地带(如滇池、洱海等)。入湖支流水系较多,而湖泊的出流水系较少,湖泊水更换周期长,生态系统较脆弱
青藏高原区	海拔最高、面积最大、数量最多的高原湖区,总面积为 36899 km^2 , 约占全国湖泊总面积的 45.2%, 湖泊率为 2%, 是我国湖泊分布密度最大的湖区之一。本区是长江、黄河和澜沧江等水系的河源区,湖泊补水以冰雪融水为主,湖水入不敷出,干化现象显著。该区以咸水湖和盐湖为主
东北平原与山区	主要位于松辽平原和三江平原,由于地势低平、排水不畅,发育了大小不等的湖泊。另外,丘陵、山地还分布着火山口湖和堰塞湖,总面积为 3800 km^2 , 约占全国湖泊总面积的 4.6%, 湖泊率为 0.3%。该区以外流淡水湖为主

1.2 国内湖泊湿地生态系统研究进展

国内生态服务的研究起步较晚,相关研究于20世纪90年代才在国内展开。欧阳志云、辛琨、肖笃宁、谢高地、赵军等多位学者详细阐述了生态系统服务的定义、内涵和价值评价方法,并系统地分析了生态系统服务的研究进展与发展趋势,探讨了生态系统服务及其与可持续发展的关系(欧阳志云等,1999;辛琨和肖笃宁,2000;谢高等,2001;赵军和杨凯,2007)。

1.2.1 湿地生态系统服务价值评价

湿地生态系统服务,是湿地生态系统及其物种能够提供的满足和维持人类需求的条件和过程。对人类来说,它是从湿地生态系统中所获得的利益,包括提供产品功能、调节功能、支持功能和文化服务功能(Millennium Ecosystem Assessment, 2005)。湿地生态系统服务价值,是人类对湿地服务的支付意愿的所有货币表达。国内对生态系统服务价值的评估较晚。20世纪90年代中期开始,我国的生态学者开始系统地对生态系统服务功能及其价值评价进行研究,近期才逐渐开展湿地生态系统服务的相关研究,主要集中在湿地生态系统的评价和机制的研究。20世纪80年代和90年代初,主要是定性地对湿地某一自然要素进行评价(曾广骥等,1984),90年代后期才开始对湿地价值进行定量研究。1996年,在“中国湿地社会经济评价指标体系”的研究课题中,建立了湿地评价的指标体系理论。1999年,湿地国际中国办事处参与编写了《湿地经济评价指南》,为湿地经济评价提供了方法和指南;刘红梅等(2007),刘晓辉等(2008)对湿地生态系统服务功能的价值和评价方法进行了研究。一些学者针对不同尺度、不同类型的湿地生态系统进行了个案研究。2000年,严承高等(2000)提出了湿地生物多样性的价值评价指标以及评价方法。韩维栋等(2000)对中国现存的红树林生态系统的功能价值进行经济评估。何池全等(2001)对吉林省典型湿地的生态价值进行了综合评估。2002年,崔丽娟(2002)以扎龙湿地为例,详述了扎龙湿地生态系统价值评估的理论和方法。2002年,辛琨和肖笃宁(2002)综合运用环境经济学、资源经济学、模糊数学等研究方法,推测出辽河三角洲盘锦地区湿地生态系统的服务功能价值为62.13亿元,是该地区国民生产总值的1.2倍。2005年,段晓男等(2005)综合运用生态学和经济学方法,对乌梁素海湿地生态系统服务功能及价值评估进行了探讨。张天华等(2005)研究了西藏拉鲁

湿地生态系统的生态系统服务功能价值。赵平等（2005）研究了上海崇明东滩湿地生态系统的生态系统服务功能价值。王伟和陆健健（2005a, 2005b）对温州三垟湿地生态系统的服务功能价值进行了评估。沈万斌等（2005）采用实例的方式对人工湿地服务功能的价值进行了评估。2006年，辛琨等（2006）以香港红树林湿地为例，运用多种生态经济学方法评估其生态功能价值。陈鹏（2006）综合运用了遥感（RS）技术和地理信息系统（GIS）技术对厦门湿地生态系统服务价值进行了评估。2007年，赵晟等（2007）应用了能值理论对中国红树林生态系统进行了评估，提出了生态系统服务流量价值和存量价值的概念。2007年，陈庆等（2007）对蚌埠市三汊河湿地的生态系统进行了分类，采用野外调查与3S^①技术相结合，对湿地的服务功能价值进行评价。张华等（2008）运用生态经济学理论和研究方法，对辽宁省湿地生态系统服务价值进行了货币化静态评价。张绪良等（2008）利用 Landsat7 卫星遥感影像空间数据计算湿地生态系统价值，对莱州湾南岸滨海湿地生态系统服务价值的变化进行了分析。肖玉等（2005）对稻田湿地生态系统的氮素吸收功能及其价值进行了评估。刘敏超等（2006）对三江源区植被的固碳释氧功能及价值进行了评估。

综上所述，国内对湿地生态系统服务价值的研究呈现出从单一到复合，从整体到区域，从简单的理论概述到理论结合方法和技术的综合研究的发展趋势，国内对于湿地价值评价工作仍处于起步阶段，目前进行的湿地评估研究大多借鉴了国外的方法。近年来，湖泊湿地生态系统服务价值的研究进展，见表1-3。

表 1-3 湖泊湿地生态系统服务价值研究进展

研究区域	研究者	年份	主要成果
洞庭湖	庄大昌等（庄大昌，2004）	2004	依据资源经济学和生态经济学的理论和方法，针对洞庭湖湿地资源的特点，对洞庭湖湿地的生态系统服务功能价值进行了评估
	毛德华等（毛德华等，2007）	2007	运用市场价值法、影子工程法、碳税法、替代费用法等方法评估洞庭湖生态系统服务价值，基于评估结果和恢复生态学原理，提出了生态恢复对策
	张运（张运，2007）	2007	采用环境经济学和数理模型的一系列的方法对湖区生态系统服务功能的价值进行了分析和评价

① 3S 即遥感（RS）、地理信息系统（GIS）、全球定位系统（GPS）。

续表

研究区域	研究者	年份	主要成果
青海湖湿地	谢高地、鲁春霞等 (鲁春霞等, 2004)	2004	对高原地区不同的生态系统进行了初步评估
	李惠梅等 (李惠梅等, 2012)	2012	采用生态系统服务估值、Matlab7.0 多元线性回归分析和敏感性分析等研究方法, 定量分析了生态系统服务价值的变化
	曹生奎等 (曹生奎等, 2013a; 曹生奎等, 2014)	2013	采取市场价值法、造林成本法、碳税法和替代市场法, 对青海湖湖泊水生生态系统服务功能的使用价值进行了评估研究
		2014	以 1982 年、2000 年、2010 年 3 个时期的 TM 影像为数据, 根据中国生态系统单位面积服务价值的生物量修订, 阐述了青海湖湿地生态系统服务价值的动态特征
鄱阳湖湿地	鄢帮有 (鄢帮有, 2004)	2004	对鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值进行了评估
	崔丽娟 (崔丽娟, 2004a; 崔丽娟, 2004b)	2004	运用直接市场评价法、揭示偏好与替代品市场法、陈述偏好法对鄱阳湖湿地生态系统功能和服务功能价值进行了评估
	王晓鸿等 (王晓鸿等, 2004)	2005	对鄱阳湖湿地生态系统进行了评估
	贺娟等 (贺娟等, 2010)	2010	对鄱阳湖区农户关于湿地生态系统的服务认知进行了调查与分析
洪湖湿地	刘韬等 (刘韬等, 2007)	2007	分析了洪湖湿地的生态系统服务影响范围的尺度及其主要受益人, 确定了评估生态系统服务及其评价指标的方法
南湖湿地	刘飞 (刘飞, 2009)	2009	通过实地考察, 结合湿地的特点, 根据生态经济学的原理, 运用直接市场法、替代市场法等多种价值评估方法, 对南湖湿地生态服务的直接使用价值、间接使用价值和非使用价值进行了货币化评估
太湖湿地	许妍等 (许妍等, 2010)	2010	运用市场价值法、影子工程法、碳税法等方法对太湖湿地生态系统的物质生产功能、环境调节功能和文化社会功能等直接与间接价值进行了评估
	贾军梅 (贾军梅等, 2015)	2014	基于近 10 年来太湖生态系统的科学调查数据, 综合运用生态学及经济学方法, 对太湖生态系统的四大类功能和 11 个亚类的服务价值进行了综合评估

续表

研究区域	研究者	年份	主要成果
严东湖湿地	王凤珍等 (王凤珍等, 2011)	2011	对严东湖生态系统服务功能总价值进行了评估, 探讨了严东湖的开发利用对策
南四湖湿地	杨俊、马占东等 (马占东等, 2014)	2014	通过 RS 和 GIS 软件, 运用市场价值法、碳税法、替代费用法以及生态价值法等多种方法对南四湖湿地生态系统物质生产功能、大气调节功能、蓄水功能、调蓄洪水功能、休闲娱乐功能以及生物栖息地功能等服务功能价值进行了估算

1.2.2 湿地生态系统健康评价

湿地生态系统是具有强大生产力和保持物种丰富的重要的生态系统, 同时也是易受人类干扰的脆弱的生态系统。湿地生态系统健康或湿地健康, 即生态系统内部的能量流动和物质循环未受到威胁和损害, 湿地具有提供特殊生态功能和维持自身有机组织的能力, 并对长期或突发的自然或人为扰动保持着稳定性, 表现出复杂性、多样性和自行恢复的能力。总的来说, 健康的湿地生态系统应表现出多功能性 (崔保山和杨志峰, 2001)。湿地生态系统健康评价, 其目的是诊断受自然因素和人类活动引起的湿地生态系统的破坏或退化程度, 为更好地利用、保护和管理湿地生态系统提供合理的依据和现实意义。

近年来, 国内最初对于湿地生态系统健康评价的指标主要是生物指标和化学指标。随着经济和社会的不断发展, 人们对生态系统结构、功能理解的不断深入, 人们开始重视和关注湿地生态系统对外界压力的反应, 同时又将物理指标、压力指标考虑在内 (罗跃初等, 2003)。近几年, 湿地所承受压力的研究成为湿地生态系统健康研究的主要方向之一, 对于评价标准和指标、健康指示性物种的研究也是研究的重点 (吴良冰等, 2009)。郑耀辉等 (2010) 归纳阐述了指示物种法、结构功能指标法、生态系统健康风险评估法等 6 种适合红树林湿地生态系统健康诊断的方法, 并初步构建了红树林湿地生态系统健康评价指标体系。赵臻彦等 (高占国等, 2010) 采用湖泊生态系统指标和湖泊生态结构指标作为评价指标, 评价了湖泊湿地的生态系统健康状况, 而后将生态系统内部指标和社会经济指标结合起来进行分析。张祖陆等 (2008) 建立了 21 个指标组成的生态系统健康评价指标体系, 利用模糊综合评判模型作为研究方法, 对南四湖湿地生态系统健康状况进行了系统性评价。总的来说, 评价指标体系大都集中在压力-状态-

响应三大方面（崔保山和杨志峰，2002；孔红梅等，2002；蒋卫国等，2005；高桂芹，2006；毛义伟，2008；颜利等，2008；蒋卫国等，2009；王树功等，2010；朱卫红等，2012；廖丹霞等，2014）。随着 RS 和 GIS 技术的日趋成熟，蒋卫国利用 3S 技术和压力-状态-响应模型（PSR）提出了一套湿地生态系统健康评价指标体系、方法和模型，对湿地生态系统健康状况进行了评价，并分析了其时空格局演变状况（崔保山和杨志峰，2002；孔红梅等，2002；毛义伟，2008；颜利等，2008；王树功等，2010；朱卫红等，2012）。杨俊等首次采用更加完善的因果关系驱动力-压力-状态-影响-响应-管理（DPSIRM）健康距离模型，建立普适性更强的湖泊生态健康评价体系和方法，对南四湖生态健康状况作出科学评价（张峰等，2014）。国内对湿地生态系统健康的恢复与重建研究得较晚，目前，研究主要集中在湖泊生态系统的恢复，特别是对长江中下游典型湖泊的研究与利用，其逐渐推动了我国湿地恢复研究的发展和进程（陈宜瑜，1995；马学慧和刘兴土，1997；郎惠卿等，2000）。

1.2.3 湿地生态系统脆弱性

随着经济社会的迅速发展，人类所面对的“生态环境应力”急剧扩大。生态环境脆弱带的空间范围和程度都表现出明显的增长趋势。由于自然资源面临的威胁加剧，生态脆弱性的研究越来越引起人们的关注。湿地是水陆交互作用下的独特生态系统，是水陆之间的过渡地带，由于其受力方式和强度以及频繁的侵蚀和堆积，特别是随着工业化和城镇化进程的加速，流域人口的增加，以及围水造田、地下水超采等对湿地的开发利用，导致水面面积急剧缩小，生态系统弱化。这些都对生态系统构成严重影响，促使湿地生态系统表现出一种脆弱性特征。因此，湿地生态脆弱性的研究越来越受到重视。

国内对于生态脆弱性的研究始于 20 世纪 80 年代，研究主要集中在脆弱生态环境的成因、表现、分布、程度和整治等方面，并总结出许多重要的结论。目前，对脆弱性的研究主要集中在具体评价方法的开展和实施（周永娟等，2009），主要的评价方法有模糊综合评判法、生态脆弱度指数（ecological vulnerability index, EVI）法、层次分析法（张祚等，2007）、主成分分析法（钟晓娟等，2011）、关联评价法、综合评价法以及基于 RS、GIS 技术的评价方法等（付博，2006；乔青等，2008；周嘉慧和黄晓霞，2008；李辉等，2011）。湿地作为重要的生态系统，对其脆弱性的研究也逐渐开始，湖泊湿地作为我国湿地的重要类型，一直得到国内外学者的特别关注。例如，对洞庭湖（帅红等，2009）、洪湖