



洞庭湖区生态承载力研究

熊建新 著



科学出版社

国家社会科学基金项目 (13BJY025)

国家自然科学基金项目 (41471114)

湖南省重点建设学科“产业经济学”

湖南省环洞庭湖区域发展研究基地

湖南省洞庭湖生态经济区建设与发展协同创新中心

湖南省“十三五”专业综合改革试点(地理科学)

联合资助

洞庭湖区生态承载力研究

熊建新 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

洞庭湖区是生态承载力研究的典型区域。洞庭湖区生态承载力及其内部系统耦合协调发展问题是促进区域承载力与可持续发展相融合的重要切入点,也是国家区域协调发展的重要命题,日益成为生态学、地理学、环境学、经济学等学科研究的交叉前沿领域。本书共10章,以生态承载力基本理论与研究方法为基础,运用状态空间法综合评价洞庭湖区生态承载力;基于探索性空间数据分析法分析洞庭湖区生态承载力时空演化特征;运用生态承载力响应模型分析洞庭湖区土地利用变化、经济-社会-环境变化产生的响应状态;基于耦合协调模型分析洞庭湖区生态经济系统的耦合特征、耦合协调度时空分异,阐明耦合协调发展的演化机制;运用相关分析和回归分析方法,从系统相互作用的角度,对洞庭湖区生态承载力系统耦合关系及形成机理进行分析;运用系统动力学对洞庭湖区生态承载力进行动态模拟分析;采用层次模糊综合评价模型对洞庭湖区生态安全进行诊断,并且基于人工神经网络模型分析洞庭湖区生态承载力景气预警和景兆预警;提出生态承载力调控下洞庭湖区域协调发展策略。

本书可作为各级政府相关职能部门、管理人员的参考书,也可供地理学、生态学、经济学和环境学等专业的大专院校师生及科研工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

洞庭湖区生态承载力研究/熊建新著. —北京:科学出版社,2017.1

ISBN 978-7-03-050298-8

I. ①洞… II. ①熊… III. ①洞庭湖—湖区—环境承载力—研究
IV. ①X321.264

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 258006 号

责任编辑:韩学哲 贺密青 / 责任校对:李 影

责任印制:张 伟 / 封面设计:刘新新

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>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年1月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2017年2月第二次印刷 印张: 12 3/8

字数: 252 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着经济社会的高速发展和人口数量的急剧增加,人地矛盾日益突出,造成了资源枯竭、环境污染、生态破坏等一系列全球性问题,严重制约了区域经济、社会和生态可持续发展,威胁到人类的未来生存。因此,人们开始了对资源消耗与供给能力、生态破坏与可持续承载能力的思考,日益关注“自然-经济-社会”复合系统的可持续发展。一个区域的发展必定是以消耗一定的物质资源及排放一定的污染物为基础的。从生态承载力的角度来看,这种物质的消耗和污染物的排放必须限定在资源储量及环境容纳的阈值以内,可持续发展的实现最终不能脱离自然资源与环境的束缚,不能离开生态系统的持续支撑。一定生态承载力基础上,可以承载的人口和经济总量是可变的,取决于人口与产业的空间分布、土地利用格局,以及产业结构与技术水平。因此,生态承载力决定着一个区域经济社会发展的速度和规模,而生态承载力的不断提高是实现可持续发展的必要条件。生态承载力作为评价可持续发展能力的核心工具,其理论及研究方法备受可持续发展研究者的广泛关注,成为生态学、经济学、地理学和环境学等众多学科研究的交叉前沿领域。

生态承载力既是对生态系统整体水平的表征,也是判断社会经济与生态系统协调与否的重要依据,为生态环境管理、规划与可持续发展决策提供了有效工具。近年来,随着生态承载力研究的对象由简单到复杂、由物质性资源到功能性资源、由外在现象到内部机制,研究方法也相应由单一到复合、由描述统计到综合建模,体现出多角度、系统化、机制化和多元化的特点。但是,受众多因素和时空条件的制约,对其研究具有很大的不确定性,如何定量综合评价、分析时空演化特征,阐述内部系统耦合协调关系和形成机理,以及动态模拟、预测预警生态承载力等成为目前研究的薄弱环节。洞庭湖区是生态承载力研究的典型区域,基于区域生态系统和区域协调系统的视角,研究洞庭湖区生态承载力及其内部系统耦合协调发展已经成为国内外学术界和各级政府最为关注的热点和重点。

本书共10章,紧紧抓住洞庭湖区生态承载力及其内部系统耦合协调发展这一薄弱环节,以作者历时3年主持完成的国家社会科学基金一般项目(13BJY025)的研究成果为基础。研究过程中,以生态承载力基本理论与研究方法为基础,结合洞庭湖区自然地理概况、社会经济概况和生态环境概况,采用定性定量有机结合的系统集成方法,理论与实践相结合,对洞庭湖区生态承载力及其内部系统耦合协调发展问题进行了深入研究。主要包括以下研究内容:运用状态空间法综

合评价洞庭湖区生态承载力；基于探索性空间数据分析法（ESDA）分析洞庭湖区生态承载力时空演化特征；运用生态承载力响应模型分析洞庭湖区土地利用变化、经济-社会-环境变化产生的响应状态；基于耦合协调模型分析洞庭湖区生态经济系统的耦合特征、耦合协调度时空分异，阐明耦合协调发展的演化机制；运用相关分析和回归分析方法，从系统相互作用的角度，对洞庭湖区生态承载力系统耦合关系及形成机制进行分析；运用系统动力学对洞庭湖区生态承载力进行动态模拟分析；采用层次模糊综合评价模型对洞庭湖区生态安全进行诊断，并且基于人工神经网络（ANN）模型分析洞庭湖区生态承载力景气预警和景兆预警；提出生态承载力调控下洞庭湖区域协调发展策略。该项目研究基于区域生态系统与区域协调系统的视角，拓宽了生态承载力理论研究的思路；运用探索性空间数据分析、容量耦合协调模型等方法，丰富了生态承载力研究方法体系；选取洞庭湖区——生态承载力研究的典型区域，研究成果在一定程度上弥补了洞庭湖区生态问题研究的不足。因此，本项目研究成果可以为洞庭湖区生态、经济和社会可持续发展提供决策和参考依据，具有重要的理论价值和实践意义。

本书的出版，得到了国家社会科学基金项目（13BJY025）、国家自然科学基金项目（41471114）、湖南省环洞庭湖区域发展研究基地、湖南省洞庭湖生态经济区建设与发展协同创新中心、湖南省“十三五”专业综合改革试点（地理科学）的联合资助，得到了湖南文理学院资源环境与旅游学院陈端吕教授、彭保发教授、王亚力教授等学者的悉心指导，得到了我的学生张猛、谢雪梅、李孔财、刘淑华、李文、游雪姣在资料收集、实地调研、数据模拟等方面给予的大力协助。在此，谨向他们付出的辛勤劳动表示真挚的感谢！

本书出版过程中，得到了科学出版社韩学哲、徐倩、许健等老师的大力支持和协助，在此表示衷心的感谢！

本书写作过程中，参考了许多专家学者的论著和科研成果，书中对引用部分逐一予以注明，但仍恐有挂漏之处，诚请多加包涵。由于作者能力和水平有限，书中不足之处在所难免，恳请广大同仁批评指正！

熊建新

2016年5月26日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
第 1 节 研究依据与总体思路	2
第 2 节 技术路线与研究方案	7
第 3 节 主要研究结论	9
参考文献	21
第 2 章 生态承载力基本理论与研究方法	24
第 1 节 生态承载力基本理论	24
第 2 节 生态承载力研究方法	28
参考文献	34
第 3 章 洞庭湖区基本概况	36
第 1 节 自然地理概况	36
第 2 节 社会经济概况	39
第 3 节 生态环境概况	46
参考文献	53
第 4 章 洞庭湖区生态承载力综合评价	55
第 1 节 评价指标体系构建与评价方法	55
第 2 节 生态弹性力评价	58
第 3 节 资源环境承载力评价	61
第 4 节 社会经济协调力评价	63
第 5 节 生态承载力综合评价	65
参考文献	68
第 5 章 洞庭湖区生态承载力演化特征	70
第 1 节 空间分析方法	70
第 2 节 生态承载力时空格局特征	72
第 3 节 生态承载力空间关联特征	75
参考文献	79

第 6 章 洞庭湖区生态承载力响应 81

 第 1 节 产业结构变化对生态环境的影响评价 81

 第 2 节 土地利用变化及其生态承载力响应 89

 第 3 节 经济、社会和环境变化及其生态承载力响应 98

 参考文献 109

第 7 章 洞庭湖区生态承载力系统耦合 112

 第 1 节 生态经济系统耦合特征 112

 第 2 节 生态承载力系统耦合效应 124

 第 3 节 生态承载力系统耦合协调性 133

 参考文献 145

第 8 章 洞庭湖区生态承载力动态模拟 148

 第 1 节 生态承载力系统动态模型构建 148

 第 2 节 生态弹性子系统动态模拟 152

 第 3 节 资源环境子系统动态模拟 155

 第 4 节 社会经济子系统动态模拟 158

 第 5 节 生态承载力动态模拟 162

 参考文献 165

第 9 章 洞庭湖区生态承载力预警 167

 第 1 节 生态安全评价及预警分析 167

 第 2 节 生态承载力预警分析 174

 参考文献 181

第 10 章 洞庭湖区生态承载力耦合协调发展策略 184

 第 1 节 创新生态经济协调发展体制机制 185

 第 2 节 树立以人为本的生态发展观 187

 第 3 节 加强生态系统调控和景观生态规划 188

 第 4 节 健全生产性服务产业体系 190

 参考文献 191

第 1 章 绪 论

20 世纪以来,随着科技生产力的极大提高和社会经济的高速发展,人类创造了巨大的财富,带来了极其丰富的物质享受,推进了文明发展的进程;与此同时,人口剧增、资源枯竭、环境污染、生态破坏等问题日益凸显,导致许多地区生态承载力下降,严重制约了区域经济、社会和生态可持续发展,威胁到人类的未来生存^[1]。因此,人类开始了对资源消耗与供给能力、生态破坏与可持续承载能力的思考,日益关注“自然-经济-社会”复合系统的可持续发展^[2],研究视角定位在区域生态系统和区域协调系统两者的相互作用上,深入剖析生态承载力内部系统的耦合协调性。目前,学术界对生态承载力与区域经济、社会和环境可持续发展的关系研究,一致认为生态持续承载是区域经济、社会和环境可持续发展的基础^[3, 4],区域经济、社会和环境可持续发展是区域协调发展的最终目标,开展生态承载力研究有利于实施可持续发展。生态承载力是可持续发展的重要标志,可持续发展是当今人类追求的共同目标。学术界普遍认为可持续发展需要解决的核心问题是人口、资源、环境和发展的协调发展问题,简称为 PRED 问题。但 PRED 理论上偏重于人口、资源、环境与发展之间的协调关系研究,而基于生态承载力的研究很少,探讨区域经济、社会和环境变化对生态承载力的响应则更少。一个区域的发展必定是以消耗一定的物质资源及排放一定的污染物为基础的。因此,从生态承载力的角度来看,学术界认为这种物质的消耗和污染物的排放必须限定在资源储量及环境容纳的阈值以内^[1],可持续发展的实现最终不能脱离自然资源与环境的束缚,不能离开生态系统的持续支撑。生态承载力作为评价可持续发展能力的核心工具之一,其理论及研究方法备受可持续发展研究者的广泛关注,成为生态学、地理学与环境学等研究的交叉前沿领域^[1, 5]。

生态承载力既是对生态系统整体水平的表征,也是判断社会经济与生态系统协调与否的重要依据,为生态环境管理、规划与可持续发展决策提供了有效工具^[6]。近年来,随着生态承载力研究的对象由简单到复杂、由物质性资源到功能性资源、由外在现象到内部机制,研究方法也相应由单一到复合、由描述统计到综合建模,体现出多角度、系统化、机制化和多元化的特点^[3]。但是,受众多因素和时空条件的制约,对其研究具有很大的不确定性,如何定量评价、分析时空演化特征,以及阐述内部系统耦合关系和模拟预测生态承载力等成为目前研究的薄弱环节。洞庭湖区是生态承载力研究的典型区域,基于区域生态系统和区域协调系统的视角,研究洞庭湖区生态承载力及其内部系统耦合协调发展已经成为国内外学术界和各级政府最为关注的热点及重点。

第 1 节 研究依据与总体思路

1.1 研究依据

1.1.1 洞庭湖区生态承载力及其内部系统耦合协调发展问题是国家区域协调发展的重要命题

党的十八大报告首次将生态文明建设列为建设中国特色社会主义的重大议题,形成经济建设、政治建设、文化建设、社会建设、生态文明建设五位一体的总布局。这个总体布局是一个有机整体,其中经济建设是根本,政治建设是保证,文化建设是灵魂,社会建设是条件,生态文明建设是基础,体现了科学发展观中“五个统筹”的深刻内涵,蕴含着全面发展、协调发展、均衡发展、可持续发展和人的全面发展的科学发展观,最终形成经济富裕、政治民主、文化繁荣、社会公平、生态良好的发展格局。由此可以看出,国家区域协调发展的核心主题是以生态持续承载为基础的区域可持续发展。2012 年 9 月,国务院(国发〔2012〕43 号)文件中明确提出“推动洞庭湖生态经济区建设”;2014 年 4 月,《洞庭湖生态经济区规划》获得国务院批复(国函〔2014〕46 号),标志着“洞庭湖生态经济区建设”正式成为国家重大战略。2014 年 1 月和 2015 年 1 月的湖南省政府工作报告中分别提出“以洞庭湖区为中心,建设更加秀美富饶的大湖经济区”、“把建设洞庭湖生态经济区作为我省未来发展的三大战略支撑之一”;2014 年 8 月湖南省发展和改革委员会专门成立“洞庭湖生态经济区发展处”机构统筹湖区的建设与发展;2014 年 10 月湖南省委、省政府出台“关于加快推进洞庭湖生态经济区建设的实施意见”(湘发〔2014〕19 号)。在此背景下,开展洞庭湖区生态承载力研究对加快洞庭湖区乃至整个湖南的经济、社会和生态可持续发展具有重大现实意义,同时也为我国同类地区生态修复、区域协调发展具有重要的指导价值和借鉴作用。可见,洞庭湖区生态承载力及其内部系统耦合协调发展问题已经成为国家实施区域协调发展战略的重要命题和关键问题。

1.1.2 洞庭湖区生态承载力及其内部系统耦合协调发展问题是促进区域承载力与可持续发展相融合的重要切入点

关于区域承载力与可持续发展的关系,不少学者和组织机构对其有过精辟阐述。早在 1992 年朗克和哈尼就指出,可持续发展是为全世界而不是少数人的特权而提供公平机会的经济增长,不进一步消耗世界自然资源的绝对量和涵容能力,对自然资源的利用不会因过度对地球承载能力和涵容能力的开发而导致生态债务^[3]。2001 年高吉喜指出,生态承载力是生态系统的自我维持、自我调节能力,资源与环境子系统的共容能力及其可维持的社会经济活动强度和具有一定生

活水平的人口数量。世界自然保护同盟和联合国环境规划署在《保护地球——可持续生存战略》一书中指出,可持续发展是在生存不超出维持生态系统承载能力的情况下,改善人类生活品质;地球或任何一个生态系统所能承载的最大限度的影响就是其承载力,人类对这种承载力可以借助于技术而增大,但往往是以减少生物多样性和生态功能作为代价的,然而在任何情况下,也不可能将其无限地增大。由此可以看出,区域承载力是可持续发展的基石,生态承载力则是两者相融合的重要切入点。

洞庭湖区生态承载力及其内部系统耦合协调发展研究不仅使区域承载力理论上升到一个新的高度,更为区域可持续发展理论应用于具体实践提供了理论基础和操作手段,实现了理论与实践的紧密联系。洞庭湖区生态承载力的研究,使区域承载力理论跳出了单要素研究的局限,开辟了多要素协同与整体分析的新领域,它不再仅局限于内部单一的研究对象和角度,而是从系统相互作用的角度出发,站在全局统筹的高度,对整个生态系统的运行、发展和前景进行分析及判断。同时,采用可持续发展中平衡、协调和稳定的观点,生态承载力的概念上升到可持续发展的水平,并用可持续的眼光和标准衡量“承载”的含义。不仅使区域承载力得到了里程碑式的发展,其已有的技术方法和实现手段更为可持续发展理论的应用铺路搭桥。总之,作为区域承载力基本要素的资源、环境与人类协调发展是可持续发展的基础,需要生态承载力理论的支持。同时,生态承载力研究是实现可持续发展的前提,为完善可持续发展理论奠定坚实的基础^[4]。

1.1.3 洞庭湖区生态承载力及其内部系统耦合协调发展问题是目前研究的重点和薄弱环节

生态承载力是自然体系维持和调节系统的能力的阈值^[5]。目前,关于生态承载力的阈限性,各学科已形成共识,其制约因素从自然资源的供给能力、环境系统的净化能力扩展到生态系统的弹性力、人类活动的调控能力、社会经济的发展能力等,厘清了生态承载力与资源承载力、环境承载力、生产承载力及生活承载力之间的相互关系,研究方法也从定性描述发展到定量分析和机制探讨的综合,越来越趋近于生态承载力问题的科学本质^[2],呈现出以下特点。

(1) 生态承载力研究对象趋向多元化,研究领域呈现交叉综合趋势。国内外生态承载力研究实践表明,以单要素承载力研究的局限性越来越突出,已不能适应生态系统资源开发与发展的要求,从系统相互作用的角度出发,从综合多要素角度研究生态承载力是今后生态承载力研究的方向和趋势。而且,随着生态承载力研究的深入,生态系统各资源之间的相互广义替代性研究将越来越受到重视。这就客观上要求加强交叉综合研究,从系统的角度研究生态的承载力问题。因此,生态承载力必将从单学科、单因子研究趋向多学科合作,开展人口、资源、环境、发展多因素、多层次的交叉综合研究。

(2) 生态承载力研究方法和手段不断更新。生态系统的复杂性决定了生态承载力研究方法和手段的复杂性。在定量分析手段上,除了传统的自然植被净第一性生产力估测法、生态足迹法、供需平衡法等方法之外,现代技术和方法,如遥感(RS)、地理信息系统(GIS)空间分析法、探索性空间数据分析法(ESDA)、系统动力学(SD)模型和人工神经网络(ANN)模型等将会为生态承载力研究提供更科学、全面的定量分析结果。

(3) 生态承载力将继续向动态模拟化方向发展。生态承载力研究经历了从一般定性描述到定量和机制的探讨,从单学科、单要素研究到多学科、多因素综合研究的过程,越来越趋近于生态承载力问题的客观本质,同时也增加了研究的难度。为了提高生态承载力研究的科学性与实用性,必须加强生态承载力的动态模拟研究,建立一套能反映生态承载力本质的模型体系,实现对生态承载潜力的估算与动态变化过程的预测。实质上,现代意义上的生态承载力研究就是资源开发与区域发展战略研究,是制定有关政策的科学依据。具体到洞庭湖区来说,目前研究的热点和重点主要集中在资源开发利用、社会经济发展和生态环境保护3个领域。例如,谢春花等^[7]分析了土地利用变化对洞庭湖区生态系统服务价值的影响,姜加虎和黄群^[8]对洞庭湖生态环境承载力进行了分析,孙占东等^[9]对洞庭湖主要生态环境问题变化进行了深入分析,段玉^[10]对洞庭湖区特色经济发展进行了研究,杜湘红^[11]对洞庭湖流域水资源环境与社会经济系统进行了耦合建模和仿真测度分析。而从生态承载力角度研究的相当少,仅有陶卫春等^[12]、尹少华和安消云^[13]对此有过研究。因此,洞庭湖区生态承载力研究仍然处于薄弱环节,对其进行研究具有极强的理论价值和现实意义。

纵观现阶段研究成果,我们认为生态承载力研究还存在以下有待进一步完善和深入研究的几个方面。

(1) 生态承载力评价指标体系方面。目前,对生态承载力评价指标体系不够全面,多局限于生态弹性力、资源承载力和环境承载力,而忽视了生态系统各要素的网络关系与区域的整体效应,即忽视了生态承载力变化对区域经济活动、社会发展和环境演变的影响因素。

(2) 生态承载力时空演化方面。尽管目前已经形成了一些关于生态承载力动态变化定量研究的方法和模式,但是这些方法和模式大多集中在生态弹性力、资源承载力和环境承载力的量化方面,尚未充分揭示生态承载力的时空相互作用及其演化特征。

(3) 生态承载力系统耦合关系和形成机制方面。生态承载力系统是一个自然、社会和经济融为一体的复合动态系统。目前,从单要素角度对生态承载力系统进行分析与影响评价已取得一定成果,但是从系统相互作用的角度对生态承载力内部系统及要素之间耦合关系和形成机制的研究还相当薄弱。

(4) 生态承载力预警分析及管理调控方面。目前,对生态承载力在管理调控

上的应用,国外多使用成长管理方法,我国则更多表现于政策的强力约束性。由于生态系统本身的复杂性,以及对生态承载力敏感性指标的随机波动性变化不易把握,导致预警分析和管理调控并不到位,无法保证区域经济、社会、资源和环境的协调性。

(5) 区域协调发展方面。生态承载力反映区域协调发展中生态系统对区域经济、社会和环境可持续发展的支撑功能,是供给与需求的统一体。随着区域社会经济的无限需求与区域生态支撑系统的有限供给之间矛盾的深入,导致生态承载力的阈限性特征日益凸显,引起了区域景观结构和功能的变化,同时也加重了区域经济、社会和环境压力,甚至改变了区域环境的平衡机制和运行规律。目前,应对区域协调发展的策略更多地集中在宏观层面,偏重于人口、资源、环境和发展之间的协调关系,而基于生态承载力的研究很少。因此,从生态承载力内部系统耦合协调发展的角度进行微观研究亟待深入。

1.2 总体思路

1.2.1 建立洞庭湖区生态承载力评价数据库

通过发放调查表、咨询访问、样地调查、线路勘查等实地调查和广泛收集洞庭湖区基础地理数据,选取洞庭湖区 2001 年、2005 年和 2010 年 3 个时期的遥感数据,以及 1:25 万土地利用/土地覆盖分类图,摸清 2001 年以来洞庭湖区资源、经济、社会、环境和生态的历史及现状。区域经济、社会和环境方面主要包括总量及单因子的测定。例如,衡量经济发展的经济水平、经济结构、资源利用率、经济竞争力等指标;衡量社会进步的城市建设、生活质量、生态文明、城市化水平等指标;衡量资源数量的人均水资源量、人均林地面积、人均耕地面积等指标;衡量环境保护的环境污染、环境治理、生态建设等指标;衡量生态质量的生物丰度、植被覆盖、水网密度、土地退化、湿地面积退化等指标。生态承载力评价的调查内容包括生态弹性力(环境稳定性、地质地貌、植被、气候、水文等)、资源环境承载力(生物、森林、土地、矿产、水资源、大气环境、水环境等)和社会经济协调力(人口、经济、城市、GDP、产业等)3 个方面。在此基础上,建立 SQL Server 区域评价数据库。

1.2.2 评价不同时空尺度下洞庭湖区生态承载力变化

基于 SQL Server 区域评价数据库,分别从生态弹性力、环境资源承载力和社会经济协调力等方面构建生态承载力评价体系,对评价指标进行聚类、降维和关联分析。采用状态空间法评估不同时间点、不同空间尺度下的生态弹性力、环境资源承载力、社会经济协调力及三者的综合评价。基于地理信息系统平台 ArcGIS 的空间分析模块,分析不同时空尺度下洞庭湖区生态承载力的年际变化特征、季

节变化特征及空间分异特征。

1.2.3 分析不同时空尺度下洞庭湖区生态承载力演化特征

利用 ArcGIS 和 GeoDA 统计分析软件,从不同时空尺度,采用动静态分析、统计分析与空间可视化分析相结合,分析影响生态承载力的经济、社会、资源和环境等诸多要素的差异和变化;通过探索性空间数据分析(exploratory spatial data analysis, ESDA)揭示洞庭湖区生态承载力时空变化特征、空间格局特征、全局空间自相关特征、局部空间自相关特征及空间差异演变特征,拓宽生态承载力理论研究的思路和研究方法的创新。

1.2.4 构建洞庭湖区经济、社会和环境对生态承载力响应模型

构建基于 Vensim 的区域经济、社会和环境因子与生态承载力系统动力学模型,运用生态承载力响应模型,结合通径分析法、回归分析法和相关分析法,研究在生态承载力调控下的区域经济、社会和环境响应信号(经济发展水平、生态环境改善、产业结构优化、社会文明程度等)、响应性质(被动响应、接受现实、建设性、预防性等),以及区域经济、社会、环境因素调控下的生态承载力响应方式(主动响应、预报性等),采用小波分析方法进行关键参数识别、模型灵敏度分析和模拟结果验证。

1.2.5 阐明洞庭湖区生态承载力内部系统耦合关系及发展机制

基于生态承载力响应结果,运用多元统计分析方法分析生态承载力内部系统及要素之间的耦合关系,阐明耦合效应的形成机制。其中,用相关分析法揭示生态弹性子系统、资源环境子系统和社会经济子系统三大子系统及内部要素之间相互关系的密切程度,回归分析法用来研究生态承载力三大子系统及内部要素之间的数量关系,揭示耦合效应。借用物理学中容量耦合协调模型,评价生态弹性子系统、资源环境子系统和社会经济子系统及要素之间的耦合协调度,进而分析生态承载力对区域经济、社会和环境协调发展的制约机制,以及区域经济、社会和环境协调发展对生态承载力的影响机制。

1.2.6 预测预警不同时空尺度下洞庭湖区生态承载力警情变化

基于 Matlab、GIS 等平台,结合专家评价、模糊综合评价和人工神经网络(ANN)方法,将生态承载力与区域经济、社会和环境响应机制形成知识网络,利用 ANN 进行学习、训练和预警,构建生态承载力预警体系及预警信息系统,对生态承载力的区域响应从发现警情、分析与辨识警兆、判断警度及排警决策全过程进行预警。预警指标通过主成分分析方法提取;警情分析主要反映在人类活动干扰下生态承载力与区域经济、社会和环境子系统响应信号的水平,利用模糊综合评价进行警情评价,利用 BP 神经网络进行警情预测;预警级别主要根据区

域响应状态与强度进行确定,可以划分为无警、轻警、中警、重警、巨警5个区间;排警调控主要根据预警信号、警报原因采用相对应的调控对策,包括导向、协调、自控和稳定。运用系统动力学模型,在 Vensim-PLE 软件支撑下对洞庭湖区生态承载力系统进行现状模拟和优化模拟,为区域协调发展策略提供重要决策依据。

1.2.7 探析生态承载力调控下洞庭湖区域协调发展策略

基于不同时空尺度下洞庭湖区生态承载力综合评价、演化特征、耦合关系和动态模拟,结合区域经济、社会和环境对生态承载力响应模型,利用区域预警理论和预警模型,探讨洞庭湖区经济、社会和环境对生态承载力的调控机制,从区域生态系统与区域协调系统的双向关系中,探析基于生态承载力的洞庭湖区域协调发展策略,实现区域生态安全。

第2节 技术路线与研究方案

2.1 技术路线

生态承载力是一个自然、社会和经济的复杂动态系统,其内部系统耦合关系问题是一个复杂的科学问题。因此,生态承载力研究项目研究采取“文献梳理—野外调查、资料收集与分析—模型构建与推导—数据处理与数理分析—对策研究”的研究思路,形成以下技术路线(图1-1)。从图1-1中可以看出,项目研究的理论基础方面应用了系统论、协同论、生态经济学理论、可持续发展理论,以及地理学、环境学、生态学、经济学等多学科交叉理论。技术手段方面应用了遥感处理软件(ERDAS)、地理信息系统软件(ArcGIS)、Matlab 软件、MapInfo 软件、GeoDA 软件、SPSS 统计分析软件等。研究方法方面采用了状态空间法、相关分析法、回归分析法、探索性空间数据分析法、ArcGIS 空间分析法、容量耦合协调模型、系统动力学模型、人工神经网络模型、可持续发展指数测度模型、生态承载力响应模型等。

2.2 研究方案

开展洞庭湖区生态承载力相关问题的研究,源于国家哲学社会科学基金委员会批准立项的国家社会科学基金一般项目“洞庭湖区生态承载力及其内部系统耦合协调发展研究”(13BJY025),自2013年6月30日起,到2016年6月30日结束,历时3年。主要开展了以下研究工作。

(1) 设计调研计划。按照“文献梳理—野外调查、资料收集与分析—模型构建与推导—数据处理与数理分析—对策研究”的研究思路,课题设计了3次较大规模的实地考察和调研:前期(2013年7~12月),项目组按常德市—汉寿县—

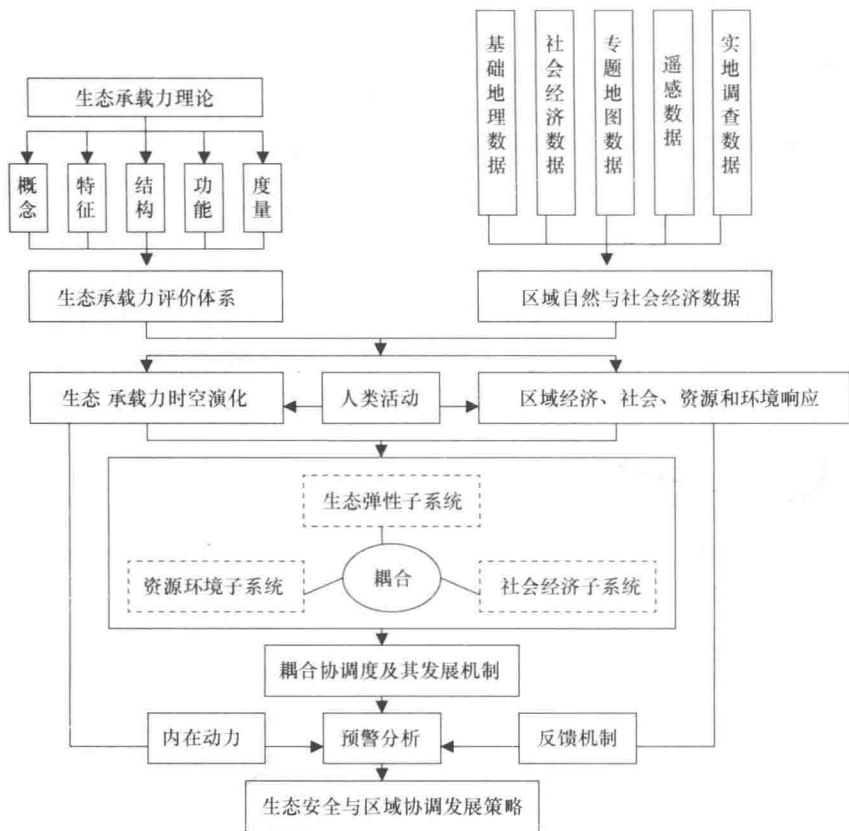


图 1-1 研究技术路线示意图

沅江市—南县—华容县—石首市—公安县—荆州市—淞滋县—澧县—津市市—临澧县—常德市线路，围绕洞庭湖区展开了野外调查与资料补充收集；中期（2014 年 1 月至 2015 年 1 月），项目组继续组织相关研究成员到洞庭湖区各县市进行资源环境状况的实地调研，尤其是充分利用了 7~8 月假期，按常德市—澧县—津市—淞滋县（淞滋口）—弥市镇（太平口）—沙市—公安县—南口镇（藕池口）—石首市—调关镇（调弦口）—华容县—南县—安乡县—常德线路，对岳阳市、常德市和益阳市 21 个行政区域的发展和改革委员会、环境保护局、农业局、气象局、林业局、国土局等职能部门进行了走访、咨询、座谈、资料收集等调研活动，取得了第一手资料；后期（2015 年 2 月至 2016 年 6 月），项目组根据前期调研材料，继续对洞庭湖区 21 个区域的经济、社会、资源、环境和生态等众多要素进行实地调研，收集补充数据、完善资料，中、后期调研活动根据研究需要穿插进行。

（2）制订工作方案。结合调研计划，项目组按照人员分工开展了 3 个主要阶段的研究。前期（2013 年 7~12 月）主要进行理论梳理，重点分析国内外生态承载力理论与实证研究进展。中期（2014 年 1 月至 2015 年 1 月）侧重于 3 个

方面：一是构建洞庭湖区域评价数据库，对洞庭湖区生态承载力进行综合评价；二是重点分析洞庭湖区生态承载力时空演化特征；三是重点研究洞庭湖区经济、社会和环境变化与生态承载力的响应关系。后期（2015年2月至2016年6月）重点分析洞庭湖区生态承载力内部系统的耦合关系及形成机制、生态承载力预测预警分析和优化对策研究，以研究报告形式提出基于生态承载力的洞庭湖区经济、社会、环境和生态协调发展策略。

第3节 主要研究结论

3.1 运用状态空间法评价了洞庭湖区生态承载力变化状况

利用洞庭湖区生态承载力评价数据库中的资料信息，根据科学性、全面性、可操作性和简明性的指标体系构建原则^[3]，参考中国科学院可持续发展指标体系（2009年修订版）和《生态环境状况评价技术规范（试行）》（HJ/T192—2006），结合洞庭湖区自然地理概况、社会经济概况和生态环境概况，构建了洞庭湖区生态承载力评价指标体系，为消除指标数据间量纲和量级的影响，使用极差正规化法将指标进行归一化处理^[14]，指标权重的确定采用层次分析法^[3]，运用状态空间法对生态承载力进行评价。

（1）生态弹性力评价结果。洞庭湖区2001~2010年生态弹性力指数整体上呈现波动性下降趋势，由“中等稳定”状态向“较低稳定”状态转变，并维持“较低稳定”状态。2001年、2005年和2010年3个典型年份的生态弹性力指数，沅江市、南县和湘阴县3个县域处于“中等稳定”以上状态，其他14个县域生态弹性力都偏低，并且变化幅度较大。从区域空间分布来看，洞庭湖中部地区生态弹性力相对较高，东北部地区生态弹性力略优于西北部地区；但是，从整体来看，洞庭湖区生态弹性力偏低，反映出人类社会经济活动对生态系统的干扰强烈，已经超越了生态系统自我维持、调节和抗干扰的能力。

（2）资源环境承载力评价结果。洞庭湖区2001~2010年资源环境承载力指数整体上呈下降趋势，由“中等承载”状态向“较低承载”状态转变，并且一直维持着“较低承载”状态。从变化趋势来看，3个典型年份的资源环境承载力只有沅江市、南县2个县域较强，一直处于“中等承载”以上状态，岳阳县、湘阴县、汨罗市和益阳市区4个县域处于下降递减态势，其他县域资源环境承载力处于不稳定变化状态。表明洞庭湖区社会经济发展对资源的依赖程度不断加强，对环境的干扰力度日益加剧，资源供给侧和环境承载能力形势严峻。

（3）社会经济协调力评价结果。洞庭湖区2001~2010年社会经济协调力一直处于“较低协调”状态，并且协调性整体上呈现明显下降态势。3个典型年份的社会经济协调力一直处于“较低协调”状态的有岳阳县、沅江市、桃源县、澧县

和安乡 5 个县域,一直处于“低协调”状态的有桃江县,其他县域介于“中等—较低”状态转变之中,并且指数都不高。表明洞庭湖区在城市化水平不断提高和工业化特征日益明显的发展时期,社会和经济的协调性不容乐观。

(4) 生态承载力综合评价结果。洞庭湖区 2001~2010 年生态承载力综合指数由 2001 年的为“中等”变化为 2010 年的“较低”,呈“U”形变化趋势,反映了引起生态承载力变化的最直接驱动力是人类社会经济活动。10 年间洞庭湖区生态弹性力、资源环境承载力和社会经济协调力三者状态向“中弹性—中承载—较低协调”转变并维持“较低弹性—较低承载—较低协调”;其中,社会经济协调力持续“走低”,资源环境承载力和生态弹性力呈现“回暖”趋势。从区域空间分布来看,10 年来生态承载力稳定上升的只有沅江市和南县,一直处于下降的有岳阳市区、岳阳县、汨罗市、益阳市区、常德市区和汉寿县,其他 9 个县(区、市)处于不稳定变化之中。其中,湘阴县和华容县呈现出“先升后降”趋势,临湘市、桃江县、桃源县、临澧县、澧县、津市和安乡县呈现出“先降后升”趋势。这种变化趋势集中反映了不同时空尺度下生态弹性子系统的支撑能力、资源环境子系统的供能能力和社会经济子系统的发展能力的地区差异性。

3.2 基于 ESDA 分析了洞庭湖区生态承载力演化特征

生态承载力的空间异质性是生态系统固有的特性,其时空格局演化往往受到人类活动的深刻影响。在生态承载力综合评价研究的基础上,基于 ArcGIS 和 GeoDA 软件支撑,利用 ESDA 为主的空间分析法^[15-18],以及百分位数和变异系数^[19],对洞庭湖区生态承载力时空演化特征进行分析。

(1) 生态承载力空间格局特征分析结果。洞庭湖区生态承载力从西南向东北大体呈“W”型(较高—低—高—低—较高)空间格局,倒“U”型的县域差异特征显著。其中高(较高)值区分别是西南的桃源县和桃江县,中部的南县和沅江市,东北的华容县和临湘市;低值区依次是常德市区和岳阳市区。从百分位等级频数分布来看,生态承载力水平的高低在数量上形成中部高,两头低,大体上围绕中部对称分布的倒“U”形状。表明社会经济发展水平较高的县域,其生态承载力较低,进而验证了社会经济协调力是影响生态承载力高低的直接驱动力。

(2) 生态承载力空间差异演变特征分析结果。洞庭湖区 2001~2010 年生态承载力相对差异演变整体上呈现一定的差异性。以 2002 年、2003 年、2005 年和 2008 年为折点,呈现出一个向左上倾的“雁阵”形状。具体来看,生态承载力 2001~2003 年相对差异较小,趋于稳定;2005 年前后相对差异较大;相比 2001~2003 年,2005 年以来相对差异明显扩大,且这种较大的空间相对差异随着时间的推移呈现小幅度波动趋势。

(3) 生态承载力空间关联特征分析结果。①全局空间自相关特征:洞庭湖区