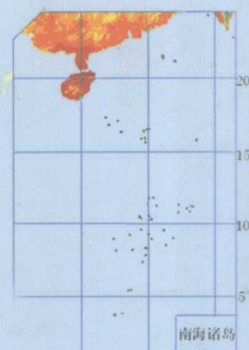
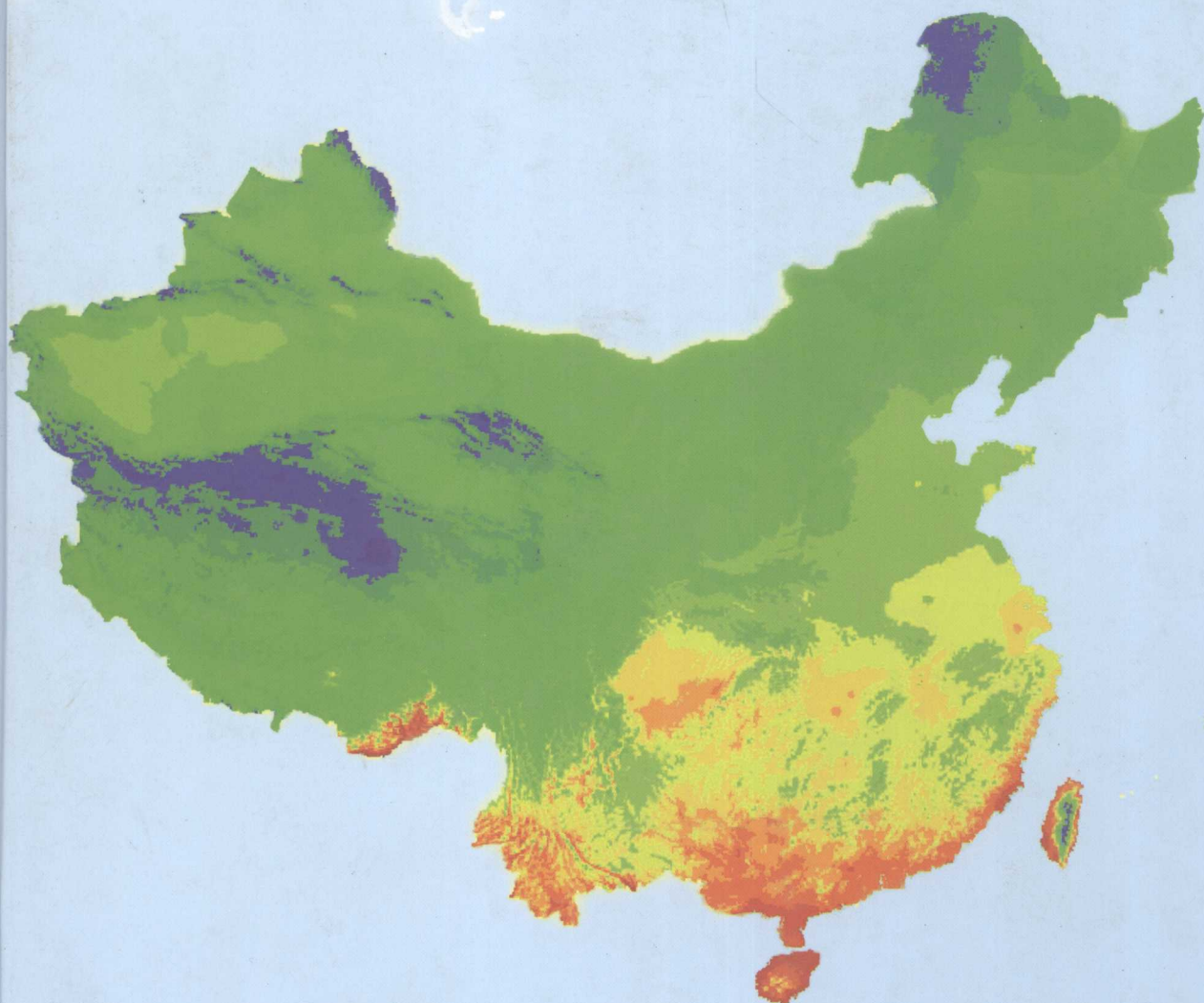


Atlas for Spatialized Information of Terrestrial Ecosystem in China
— Volume of Climatological Elements

于贵瑞 何洪林 刘新安 等著

中国陆地生态系统 空间化信息研究图集

气候要素分卷



气象出版社

P42-64
Y707.1

中国陆地生态系统 空间化信息研究图集

气候要素分卷

于贵瑞 何洪林 刘新安 等著

气象出版社

内容简介

本图集是国家杰出青年基金、中国科学院“百人计划”和知识创新方向性项目的研究成果之一。本书系统地论述了生态系统研究与生态信息科学的关系,陆地生态信息空间化的基本构想,气候要素空间化的概念、目的和意义、国内外研究现状及应用展望;简要地介绍了各种气候要素空间化的技术原理、方法步骤、误差分析和精度;提供了栅格气象数据共享系统及其使用指南,以及基于GIS技术、数学模拟技术和数据库技术而生成的国家尺度1 km×1 km栅格的各种气候要素的数值图像。数值图像包括辐射、温度、降水、湿度、风和气候指数等二十多种要素的空间信息,计227幅彩图。该图集与网上公开发布的栅格气象数据共享系统,将为生态学、地学、农学、资源与环境等学科提供海量的、重要的基础数据和研究开发平台,是高等院校、科研部门、政府决策部门的研究人员与业务人员的重要参考书和开发工具。

图书在版编目(CIP)数据

中国陆地生态系统空间化信息研究图集 / 于贵瑞等著 .

北京: 气象出版社, 2004.12

ISBN 7-5029-3900-8

I. 中… II. 于… III. ①气候要素-研究-中国-图集 IV. P42-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第131733号

中国陆地生态系统空间化信息研究图集 气候要素分卷

于贵瑞 何洪林 刘新安 等著

出版发行 气象出版社

地 址 北京市海淀区中关村南大街46号 邮 编 100081

电 话 010-68406262 总编室 010-68407112 发行部 010-62175925

网 址 <http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

责任编辑 李太宇 终审 周诗健

封面设计 索彼工作室

印 刷 北京画中画印刷有限公司印刷

开 本 880×1230 1/16

印 张 20.75

字 数 700千字

版 次 2004年12月第一版

印 次 2004年12月第一次印刷

印 数 1~1000

定 价 220.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社
发行部联系调换

中国陆地生态系统 空间化信息研究图集

气候要素分卷

资助项目

国家自然科学基金委员会杰出青年科学基金“陆地生态系统的水碳耦合循环动力学机制研究”(30225012)

中国科学院百人计划“生态系统管理的基础生态学过程研究”

中国科学院知识创新工程项目“CERN 环境数据开发与共性关键技术”(KECX3-SW-420-2)

中国陆地生态系统 空间化信息研究图集

气候要素分卷

参与项目的研究者和本图集的作者
(以姓氏笔画为序)

于贵瑞	牛 栋	王秋凤	任传友	刘新安
何洪林	李正泉	苏 文	岳燕珍	范辽生
	郭学兵	祝青林	蔡 福	

序

气候数据是进行生态学、地学和农学等多种科学研究的基础数据，特别在区域尺度和全球尺度生态系统变化（Ecosystem Changing）的模拟和生态系统管理研究中起着重要的作用。生态系统各类模型的建立，都离不开气候要素的时间动态和空间分布信息。现代生态学和全球变化科学的发展，迫切需要时间、空间分辨率较高的栅格化的气候数据的支撑。在这个时候，欣喜地看到了即将出版的《中国陆地生态系统空间化信息研究图集·气候要素分卷》一书。相信本图集的出版，将推动我国陆地生态信息空间化技术研究和产品开发的进程，带动相关学科的发展，并在诸多领域得到广泛的应用。

该项研究凝聚了由生态、气象、GIS 和数据管理等多学科人员近四年心血，也是生态学一项重大的基础建设性工作。这是我国第一部基于 GIS 技术、数学模拟技术和数据库技术的国家尺度的高分辨率的气候要素栅格图集，也是一部比较全面地系统地论述各种气候要素空间化的原理、技术方法的专著。它比较真实地反映了我国各种气候要素的时、空分布特征，方法先进，精度基本上达到了实用要求。这一成果生成了包括辐射、温度、降水、湿度、风和气候指数等二十多种要素 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 网格的空间数据库，并建立了栅格气象数据共享系统，可在网上公开发布，实现数据共享。这种数据具有空间分辨率高，地理信息具体，数据规范，精度较高、便于微机处理和应用等优点，可以满足各方面对空间化数据的需求。它的完成将为相关学科的发展提供海量的重要基础数据、研究平台和信息服务。

中国科学院院士 孙鸿烈



2004 年 11 月 26 日

前 言

1999 年作者入选中国科学院“百人计划”，开始进行生态系统管理的基础生态学过程研究，深感气候信息是生态系统管理的基础数据，生态系统各类模型的建立都离不开这些数据。特别是在区域尺度及全球尺度生态系统变化的模拟和生态系统管理的研究中，迫切需要空间分辨率较高的气候数据。然而现阶段全球的地面气象台站，还难以提供这种数据。因此，只好寻求对气候数据进行空间化这一条途径来解决。

所谓气候要素空间化，就是利用研究区域内气象台站有限点上的观测数据，设法生成整个区域某一分辨率下的空间栅格数据。这种空间化的工作，只有在全国地形图数字化完成之后才能进行。虽然人们早就知道气候要素的空间分布与地理因子息息相关，但是要想从普通地图上查取这些地理信息却不是一件容易的事。这种状况使得利用地理信息去推算无测点地区的要素值的研究仅限于较小的区域范围内。随着 GIS 技术的进步，1998 年我国完成了 1:25 万地形图的数字化工作，为国家尺度的气候要素空间化研究提供了极大的方便。

在中国科学院“百人计划”等研究项目的资助下，在各方面人士的大力支持下，2000 年我们组织生态、气象、GIS 和数据管理等方面的科技人员开始研究。在认真总结国内外有关气候信息空间化研究的基础上，针对生态学研究与业务需求选择气候要素，利用中国气象局所有基本气象台站 1971~2000 年的气象资料，根据不同的地区、不同的气候要素采用不同的空间化方法，在 ArcGIS 平台上对气温、降水等二十多种气候要素进行空间化，生成了国家尺度的 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 要素的栅格气候图。经检验，平均绝对误差，月、年平均气温和平均最高、最低气温为 0.5°C 左右；极端最高气温为 1°C 左右；极端最低气温为 1.5°C 左右；平均风速 $0.4\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ；平均相对误差，月、年平均相对湿度多在 5% 以下，月、年降水量和饱和差在 10% 左右；其空间化的精度基本上达到了实用要求。这册图集，可以说是中国科学院“百人计划”生态系统管理的基础生态学过程研究的一个重要成果。本研究的后续工作得到国家杰出青年基金项目和中国科学院知识创新项目的支持，为本书出版提供了必要的经费支持，在此对这些项目

资助单位表示衷心地感谢!

本书内容分为文字和图像两部分,以图像为主。文字部分系统地论述了生态系统研究与生态信息科学的关系,陆地生态信息空间化的基本构想,气候要素空间化的概念、目的和意义、国内外研究现状及应用展望;简要地介绍了各种气候要素空间化的技术原理、方法步骤、精度分析,以及栅格气象数据共享系统的建立及使用指南。图像部分是基于 GIS 技术、数学模拟技术和数据库技术而生成的国家尺度 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 网格的气候要素图,包括辐射、温度、降水和湿度等二十多种要素的空间信息,计 227 幅彩图。这些数据图像,比较真实地反映了我国各种气候要素的时空分布特征,并且具有空间分辨率高,地理信息具体,数据规范,精度较高、便于微机查询和处理等优点。在网上公开发布,实现数据共享,以满足各方面对空间化数据的需求,为生态学、地学、农学等学科提供海量的重要基础数据和研究开发平台。相信本图集的出版,将会推动我国陆地生态信息空间化技术研究和产品开发的进程,带动相关学科的发展,并在诸多领域得到广泛的应用。

在本图集出版之际,衷心感谢中国气象局国家气象中心气候资料室无偿地提供大量的气候资料,成为我们进行空间化的数据源,他们热情周到的服务,令人难忘。感谢中国科学院院士孙鸿烈先生在百忙之中为本书作序。感谢中国科学院资源环境局、地理科学与资源研究所以及国家自然科学基金委员会的领导对此项研究工作的支持与鼓励。

气候要素的空间化,是一项复杂的研究工作,存在许多不确定性的因素,可利用的气象站点的密度远比发达国家稀少,加上作者学术水平有限和时间仓促,不当之处在所难免,恳请使用者不吝赐教。

于贵瑞

2004 年 11 月 5 日

作者简介

于贵瑞(1959~),男,辽宁大连人,农学博士和环境学博士。现任中国科学院地理科学与资源研究所首席研究员,博士生导师,中国生态系统研究网络(CERN)综合研究中心主任,CERN领导小组办公室副主任,CERN科学委员会副秘书长,中国生态学会副理事长,国家生态环境野外科学观测研究网络专家组秘书。主要从事植物生理生态机理和模型、陆地生态系统、碳循环与水循环的观测、过程机理与管理等方面的研究。



曾先后在沈阳农业大学和日本千叶大学担任副教授,1999年入选中国科学院“百人计划”,2002年获得国家自然科学基金委员会“杰出青年基金”项目资助,主要开展以生态系统的水管理、碳管理和生态信息管理为核心的生态系统管理的综合研究。目前,作为首席科学家之一,主持了中国科学院知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”,主持“国家杰出青年基金”项目“陆地生态系统的水碳耦合循环动力学机制”的研究工作,参加并协助首席科学家组织国家“973”项目“中国陆地生态系统碳循环及其驱动机制”的研究工作,主持创建了中国陆地生态系统通量观测研究网络(ChinaFLUX)。已出版了《种植业系统分析与优化控制方法》、《耕作制度优化设计原理与方法》、《全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积》等学术著作多部。

目 录

序 前言

1 陆地生态信息空间化研究概论	(1)
1.1 生态系统管理研究与生态信息科学	(1)
1.1.1 生态系统管理与生态发展的新趋势	(1)
1.1.2 现代生态学研究方法的新特征	(4)
1.1.3 生态信息科学在生态学研究中的作用	(5)
1.2 陆地生态系统空间化信息系统建设的基本构想	(6)
1.2.1 生态系统基础信息的空间化研究	(6)
1.2.2 生态系统综合信息的空间化研究	(7)
1.2.3 陆地生态系统的综合区划与利用保护规划	(8)
1.3 气候信息空间化研究进展	(9)
1.3.1 生态系统与气象环境	(9)
1.3.2 气候信息空间化的目的与意义	(10)
1.3.3 国内外陆地生态系统气候要素空间化研究的现状	(11)
2 陆地生态系统气候信息空间化的技术方法	(13)
2.1 资料的准备与预处理	(13)
2.1.1 气候资料的来源及处理	(13)
2.1.2 空间数据来源及处理	(14)
2.2 气候信息空间化方法概述	(15)
2.2.1 气候要素空间化工作模式	(15)
2.2.2 气象数据空间栅格化的方法概述	(16)
2.3 空间化技术路线	(21)
2.3.1 基于日尺度模型的空间化途径	(22)
2.3.2 基于趋势面分析的空间化途径	(22)
2.4 结果检验方法	(23)
2.4.1 预留站点检验法	(23)
2.4.2 交叉验证方法	(23)
2.4.3 误差的统计与检验	(24)
3 辐射环境要素的空间化信息	(25)
3.1 生态系统辐射环境概论	(25)
3.2 太阳总辐射	(25)
3.2.1 定义与生态学意义	(25)

3.2.2	空间化方法及实现	(26)
3.2.3	空间化数据的误差分析	(29)
3.3	月和年光合有效辐射	(34)
3.3.1	定义与生态学意义	(34)
3.3.2	空间化方法	(34)
3.3.3	空间化数据的精度	(37)
3.4	月和年地表有效辐射	(39)
3.4.1	定义与生态学意义	(39)
3.4.2	空间化方法	(39)
3.4.3	空间化数据的精度	(40)
3.5	月和年地表净辐射	(40)
3.5.1	定义与生态学意义	(40)
3.5.2	空间化方法	(41)
3.5.3	空间化数据的精度	(44)
3.6	日照时数	(45)
3.6.1	定义与生态学意义	(45)
3.6.2	空间化方法	(46)
3.6.3	空间化数据的精度	(47)
	附录	(49)
4	温度环境要素的空间化信息	(54)
4.1	生态系统的温度环境概论	(54)
4.2	月/年平均气温	(55)
4.2.1	定义与生态学意义	(55)
4.2.2	空间化方法	(55)
4.2.3	空间化数据的精度	(57)
4.3	月平均最高气温与月平均最低气温	(58)
4.3.1	定义与生态学意义	(58)
4.3.2	空间化方法	(59)
4.3.3	空间化数据的精度	(59)
4.4	月极端最高气温和月极端最低气温	(60)
4.4.1	生态学意义	(60)
4.4.2	空间化方法	(60)
4.4.3	空间化数据的精度	(61)
4.5	日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 5°C 、 10°C 、 15°C 的初、终日期及其积温	(61)
4.5.1	定义与生态学意义	(61)
4.5.2	空间化方法	(62)
4.5.3	空间化数据的精度	(62)

4.6	温度指数	(62)
4.6.1	生物温度(BT)	(63)
4.6.2	温暖指数(WI)	(63)
4.6.3	寒冷指数(CI)	(63)
5	水环境等要素的空间化信息	(64)
5.1	生态系统水环境概述	(64)
5.2	月和年平均降水量	(64)
5.2.1	定义与生态学意义	(64)
5.2.2	空间化方法	(65)
5.2.3	空间化数据的精度	(65)
5.3	日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 5°C 、 10°C 期间的降水量	(67)
5.3.1	定义与生态意义	(67)
5.3.2	空间化方法	(67)
5.3.3	空间化数据的精度	(67)
5.4	月和年平均相对湿度	(68)
5.4.1	定义与生态学意义	(68)
5.4.2	空间化方法	(68)
5.4.3	空间化数据的精度	(68)
5.5	月和年平均空气饱和差	(70)
5.5.1	定义与生态学意义	(70)
5.5.2	空间化方法	(70)
5.5.3	空间化数据的精度	(70)
5.6	月和年平均参考作物蒸散量	(72)
5.6.1	定义与生态学意义	(72)
5.6.2	空间化方法	(72)
5.7	辐射干燥指数与干燥度	(73)
5.7.1	辐射干燥指数	(73)
5.7.2	干燥度	(73)
5.8	月、年平均风速	(74)
5.8.1	定义与生态学意义	(74)
5.8.2	空间化方法	(74)
5.8.3	空间化数据的精度	(74)
5.9	有关气压订正等一些参数的简便算法	(75)
5.9.1	气压订正	(75)
5.9.2	海平面大气质量数	(75)

6 栅格气象数据共享系统的建立及使用指南	(76)
6.1 引言	(76)
6.2 系统的设计与实现	(76)
6.2.1 软件平台	(76)
6.2.2 数据库设计与建立	(77)
6.2.3 系统的体系结构与功能	(78)
6.2.4 系统实现	(79)
6.2.5 系统使用指南	(80)
参考文献	(84)
网格气候要素图	
辐射	(91)
潜在总辐射月、年总量	(91)
总辐射月、年总量	(104)
光合有效辐射月、年总量	(117)
地表有效辐射月、年总量	(130)
地表净辐射月、年总量	(143)
日照时数	(156)
气温	(169)
月、年平均气温	(169)
月平均最高气温	(182)
月平均最低气温	(194)
月、年极端最高气温	(206)
月、年极端最低气温	(219)
日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 5°C 、 10°C 、 15°C 初日、终日	(232)
日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 5°C 、 10°C 、 15°C 积温	(240)
降水量	(244)
月、年平均降水量	(244)
气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 5°C 、 10°C 期间的降水量	(257)
空气相对湿度与饱和差	(260)
月、年平均空气相对湿度	(260)
月、年平均空气饱和差	(273)
平均风速	(286)
参考作物蒸散量	(299)
气候指数	(312)
生物温度(BT),温暖指数(WI)和寒冷指数(CI)	(312)
辐射干燥指数	(315)
干燥度	(317)

1

陆地生态信息空间化研究概论

1.1 生态系统管理研究与生态信息科学

1.1.1 生态系统管理与生态发展的新趋势

生态系统管理 (ecosystem management) 作为生态学、环境学和资源科学的复合领域以及自然科学、人文科学和技术科学的新型交叉学科已经成为当代科学发展的新热点。这是因为通过对不同类型和不同尺度的生态系统的有效管理,不仅可以维持有序的生态系统水循环、养分循环、碳循环和生物进化等生态学过程,保护物种(基因)和生态系统多样性,维持可持续的生态系统的生产力和环境服务功能,而且也是调节自然资源的循环再生和持续利用的关键环节,更是人类调节和维持良好的地球生态系统的地圈、生物圈和大气圈之间关系,保持地球生态系统与人类社会的和谐发展的有效途径。20世纪90年代前后,应用生态学的发展开始注意区域或全球环境问题,研究人类对自然界的控制管理,研究如何以可持续发展概念来设计生物圈的可持续利用计划,设计世界经济秩序,保护人类共同的未来,提出了生态系统管理的思想和行动计划,这标志着人类由以往对地圈、生物圈和大气圈以及地球生态系统变化的被动适应,开始走向实施有意识的调节和管理的新阶段。

生态系统管理是把复杂的生态学、环境学和资源科学的有关知识融合为一体,在充分认识生态系统组成、结构与生态过程的基本关系和作用规律,生态系统的时空动态特征,生态系统结构和功能与多样性的相互关系基础上,利用生态系统中的物种和种群间的共生相克关系、物质的循环再生原理、结构功能与生态学过程的协调原则以及系统工程的动态最优化思想和方法,通过实施对生态系统的管理行动,以维持生态系统的良好动态行为,获得可持续的生态系统产品生产(食物,纤维和能源)与环境服务功能产出(资源更新和生存环境)(于贵瑞,2001)(图1.1)。

依据生态系统变化的科学知识和数据,对地球生态系统进行科学管理是调节全球变化的根本途径。陆地生态系统管理不仅是调节自然资源的循环再生和持续利用的关键环节,更是调节和维持良好的地圈、生物圈和大气圈之间关系,保持地球生态系统与人类社会和谐发展的有效途径。全球或区域尺度的生态系统管理研究的目的是,通过对不同类型和不同尺度生态系统的有效管理,维持有序的生态系统水循环、养分循

环、碳循环和生物进化等关键生态学过程，保护物种（基因）和生态系统的多样性，维持生态系统的可持续生产力和环境服务功能的产出（于贵瑞，2004）（图 1.2）。

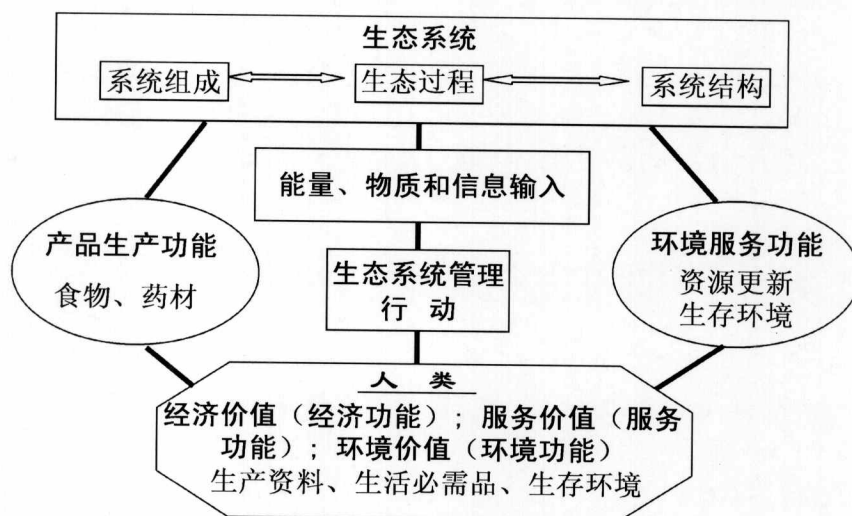


图 1.1 生态系统管理概念示意图（于贵瑞，2001b）

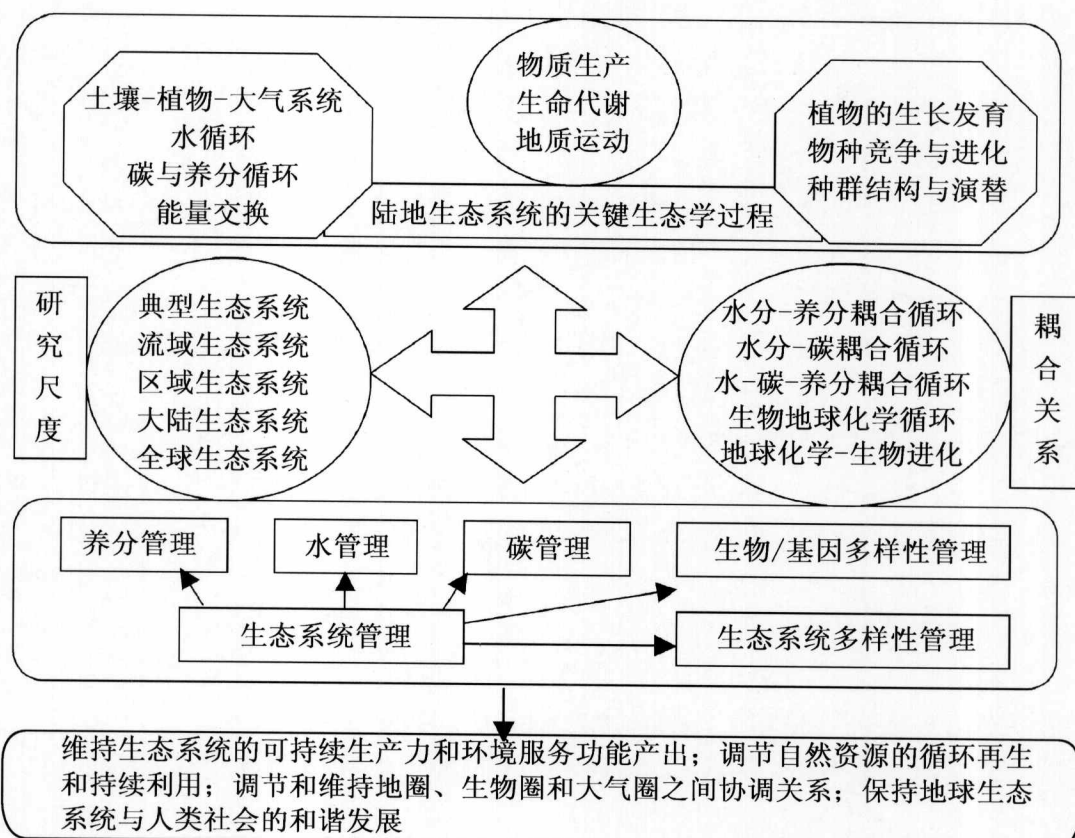


图 1.2 陆地生态系统过程与生态系统管理的关系（于贵瑞，2004）

在陆地生态系统的管理实践中,管理者可以选择多种不同的途径和切入点,但是概括起来主要有三种。其一是通过各种人为措施直接改变生态系统的结构,称为生态系统结构管理(structure management);其二是调节生态系统的生态学过程,称为生态系统过程管理(process management);其三是在区域尺度上调整生态系统的格局,称为生态系统格局管理(pattern management)。以上三种管理途径是相互作用、互为因果关系的,但是对于不同类型和具有不同空间尺度的生态系统而言,因管理的目的不同,它们的管理效果也不同。就全球变化问题而言,生态系统管理的主要内容与途径应包括:(1)生态系统的水循环过程管理;(2)以生态系统养分循环和碳循环为核心的生物地球化学循环过程管理;(3)以土壤-植物-大气系统的能量交换为核心的地圈-生物圈-大气圈相互作用过程管理;(4)以生物多样性保护为核心的生物与生态系统进化过程管理等等。

服务于全球或区域生态环境问题的生态系统管理必须要以深入理解生态系统的水循环、养分循环、碳循环和生物进化等生态学过程的机制与动态行为为基础,提出生态系统的水分、养分、碳和生物管理的策略和技术。但是生态系统管理还要受到自然过程的大尺度、高度的自然变异性、生态系统复杂性和人类行为的不可预测性所限制。面对急剧的全球变化和全球环境问题,目前还缺乏足够的科学认识 and 解决问题的有效办法,这正是全球变化与生态系统管理科学所面临的重大挑战。

在全球变化科学和生态系统管理思想的引导下,当代的应用生态学在宏观尺度上的研究工作取得了长足的进步,并且明显地表现出下列几个新的发展趋势:(1)研究对象空间尺度的全球化;(2)研究对象时间尺度的长期化;(3)研究问题的复杂化和综合化;(4)定位观测的自动化、观测项目的综合化和观测手段的多元化,(5)区域

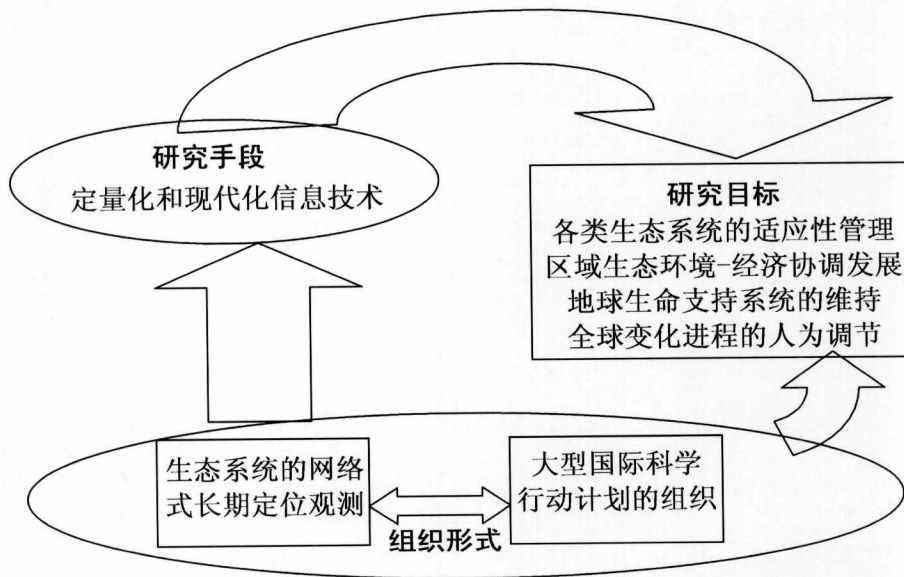


图 1.3 现代应用生态学研究工作的主要特征 (于贵瑞, 2004)

生态环境数据获取的 3S 化 (Remote Sensing, RS; Geographic Information System, GIS; Global Positioning System, GPS); (6) 研究成果表达的数字化和图像化; (7) 研究目的在以往的现象发现、规律解释、机理阐明的同时, 更加重视生态系统的调控和管理。这种生态学发展的新趋势, 使现代的应用生态学研究逐渐地进入了一种以网络式长期定位观测为基础、以定量化和现代化信息技术为研究手段、以建立区域和全球可持续生态系统为目标、以大型国际科学行动计划为支撑的全新阶段。

1.1.2 现代生态学研究方法的新特征

20 世纪的生态学科的发展是以学科分化为主流, 对于小尺度的孤立的科学现象和变化规律的认识有了较大的进展, 也积累了大量的观测和实验研究数据, 为发展跨区域、跨学科领域的生态学与地球科学的综合集成提供了条件。21 世纪的生态与地学的发展已经开始走向以大规模的野外联网观测、大型的野外模拟控制试验与超大型的模型模拟相结合, 发展综合科学 (syntheses science) 的新新时代, 其主要任务是揭示生态系统变化及其变化的驱动力、时空特征、过程机理、响应与适应特征, 开展跨尺度, 跨学科领域的生态系统网络观测与模拟实验研究。生态学的这种趋势越来越依赖于大尺度、区域性的空间化的生态信息, 综合应用不同时空尺度的试验和观测数据, 发展“前推”和反演模拟 (forward and inverse modeling) 相结合的建模方法, 建立生态系统数据与模型的融合系统 (data-model fusion system); 认识不同尺度上的生态系统关键过程及其相互作用, 发展尺度扩展 (scaling-up) 与尺度下推 (scaling-down) 相结合的跨尺度 (cross-scale) 生态系统过程集成理论和方法, 建立可以模拟不同尺度生态系统过程的相互作用机理模型, 预测生态系统对自然环境变化和人类活动

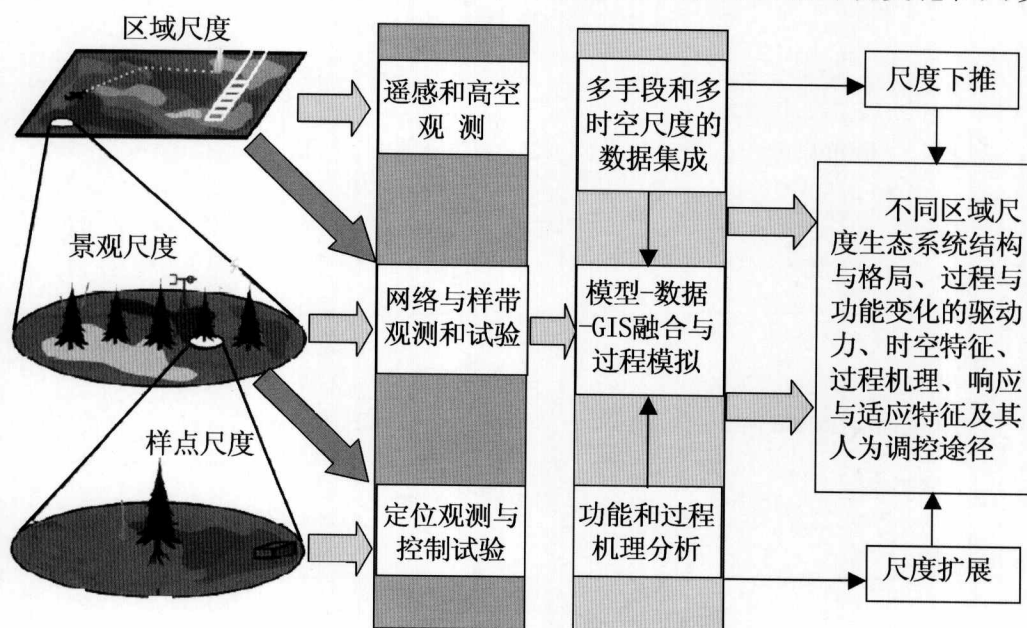


图 1.4 现代生态学发展总体思路与技术途径