



Aquatic Ecosystem
Health of Chaohu Basin

巢湖流域 水生生态健康研究

高俊峰 蔡永久 夏 霆 张志明 尹洪斌 黄 琪 等/著



科学出版社

巢湖流域水生态健康研究

Aquatic Ecosystem Health of Chaohu Basin

高俊峰 蔡永久 夏 霆 张志明 尹洪斌 黄 琪 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书基于对巢湖流域河流、湖泊、水库水生态的全面调查,从流域、水生态功能区、子流域、调查样点四个尺度,分析、评价了巢湖流域水生生物及其栖息地特征。书中系统分析了水环境和沉积物的时空分布,阐明了水生生物栖息地的物理和化学特征;从数量和多样性等方面对浮游植物、着生硅藻、浮游动物、大型底栖动物、水生植物和鱼类的特征进行了多尺度的分析与评估,阐明了不同水体和空间尺度的生物特征。在此基础上,参考国内外水生态健康的评估成果,构建了巢湖流域水生态健康评估指标体系和评估方法,并对巢湖流域的水生态健康做出了定量评估,分析了水生态健康状况的空间分布规律、影响因素。本研究成果对于揭示巢湖流域水生态及其健康的规律,为巢湖流域生态恢复、保护与管理等提供科学依据。

本书可以作为科研院所、高等院校,以及相关企业、机构、管理部门的流域生态学、环境学、地理学、水文学等专业和领域的科研、教学、规划、管理等工作的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

巢湖流域水生态健康研究 / 高俊峰等著. —北京: 科学出版社, 2016. 6

ISBN 978-7-03-048431-4

I. ①巢… II. ①高… III. ①巢湖流域-水环境质量-评价 IV. ①X824

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 119712 号

责任编辑: 刘 超 / 责任校对: 邹慧卿
责任印制: 肖 兴 / 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

*

2016 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 6 月第一次印刷 印张: 23 1/4

字数: 520 000

定价: 168.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

我国一直以水质参数来代表水环境质量,但水质参数仅能表征流域水生态系统的化学特征,生物特征及其生物栖息地质量又与水质特征密切相关。随着流域水生态问题的出现和研究的深入,20世纪60年代以来,人们从对流域水质状况关注逐渐扩大到对水生态健康的关注,不仅关注水体物理、化学特征,更应该关注水体的生物特征及其生境的质量,以利于提出生态系统的持续、稳定发展的策略,使生态系统具备较强的抵御外界干扰能力,同时为认识生态系统的状况,可为受损生态系统的恢复与重建提供科学依据。

国家相关部门已经认识到开展水生态健康评估的重要性、必要性和紧迫性。但由于我国湖泊及其所在流域在本底状况、水体特征、生物特征、栖息地状况,以及人类活动压力状况等都存在巨大差异。由此,在参考国内外相关方法和标准的基础上,提出适合流域特点的水生态健康评价指标体系、评价标准和评价方法是可行的策略。

水生态系统是由水生生物群落与水环境共同构成的具有特定结构和功能的动态平衡系统。流域水生态系统健康评价是对流域水生态系统结构和功能完整性的评价。生态完整性是指水生态系统能够支撑与维持自身平衡的能力,其内部的有机体具有组成丰富性、多样性以及与区域环境相适应的特征。流域生态系统健康反映的是流域生态系统在外来干扰下维持其自然状态、稳定性和自组织能力的程度。

巢湖是我国著名的五大淡水湖之一,具有供水、防洪、灌溉、渔业、旅游等多种服务功能。巢湖流域地处江淮丘陵之间,流域总面积为1.35万 km^2 ,有河流33条,主要出入河流有十条,其中杭埠河—丰乐河是注入巢湖水量最大的河流,其次为南淝河、白石天河。巢湖流域属北亚热带季风气候区,气候温和湿润,主要土壤类型有水稻土、黄褐土、紫色土、棕壤、黄壤、石灰土等。植被基本为人工林和次生林,以及大范围分布的种植农作物。巢湖流域是安徽省人口较集中的地区之一,2014年流域内的人口为965.4万人,GDP总量为5579.4亿元,产业结构方面,第二、第三产业比重已达到90%以上。随着巢湖流域社会经济的快速发展,人类活动对生态环境的压力越来越大,导致水环境恶化、水生生物种类减少、多样性下降、栖息地环境恶化等水生态健康问题的出现。

本书基于对巢湖流域河流、湖泊、水库水生态的全面调查,从流域、水生态功能区、子流域、调查样点四个尺度,分析、评价了巢湖流域水生生物及其栖息地特征。书中系统分析了水环境和沉积物的时空分布,阐明了水生物栖息地的物理和化学特征;从数量和多样性等方面对浮游植物、着生硅藻、浮游动物、大型底栖动物、水生植物和鱼类的特征进行了多尺度的分析与评估,阐明了不同水体和空间尺度的生物特征。在此基础上,参考国内外水生态健康的评估成果,构建了巢湖流域水生态健康评估指标体系和评估方法,并对巢湖流域的水生态健康做出了定量评估,分析了水生态健康状况的空间分布规律、影响因素。

从研究结果来看,巢湖流域水质以Ⅳ类为主,占56.29%,其次为Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ类,占31.06%;Ⅴ类水占5.27%。从时间上来看,春季水质较夏季水质差,表明季节变化对水质有较大影响。从空间上看,由于受城市污染及农村面源污染影响,南淝河流域水质最差,流域北部和西南部主要河道水质较好。因子分析显示氮磷等营养物质是流域水质主要污染来源,6条主要入湖水系污染程度的排序为:南淝河、十五里河>派河>兆河>柘皋河>白石天河>杭埠河。

巢湖流域河流和湖库沉积物中的有机质、总氮、总磷含量较高,巢湖的西半湖高于东半湖,东部平原区的河流略高于西部丘陵区河流,兆河流域要高于其他子流域;含量高值主要分布在肥东县的巢湖湾区以及巢湖东北湖区。沉积物中重金属元素含量基本上都超过了安徽省土壤环境背景值,其中Cd、Hg是巢湖流域水体沉积物中最主要的污染物。潜在生态风险为南淝河、裕溪河以及派河流域高于其它子流域,巢湖西半湖要高于东半湖。

巢湖流域发现浮游植物276种,隶属于7门、46科、123属(含变种)。蓝藻门、绿藻门和硅藻门数量比例大,是3个主要物种类别,出现率高的物种和优势物种多为耐营养型物种。流域不同水生态分区、不同子流域浮游植物种类、密度、生物量、生物多样性等群落结构特征存在时空差异性。

巢湖流域发现着生硅藻181种,隶属于2纲、7目、11科、38属。内无壳缝目、双壳缝目和单壳缝目物种是主要优势物种,春季硅藻物种多样性状况优于夏季,杭埠河物种数最多,白石天河和柘皋河最少。

巢湖流域发现浮游动物——轮虫114种,隶属于2纲、2目、20科、36属。从轮虫物种的空间分布看,春季巢湖及山丘区轮虫物种数较少,平原区轮虫物种数较高;夏季山丘区轮虫物种数整体上较低,平原区及巢湖的中部和东部物种数较高。春季巢湖的生物多样性指数均显著小于其他子流域,夏季南淝河流域的生物多样性指数显著小于其他子流域。一般认为,轮虫群落的物种多样性与水体营养水平和受污程度关联性很大。上述结果表明,春季巢湖的营养水平和受污染程度较高,降低了的轮虫物种多样性和群落均匀度;夏季南淝河流域具有的最低的物种多样性指数与其受到重污染密切相关。

巢湖流域发现大型底栖动物243种,隶属3门、7纲、22目、85科、206属。铜锈环棱螺、霍甫水丝蚓和苏氏尾鳃蚓是主要优势种。底栖动物物种数在源头溪流中较高,在巢湖及城市河流中较低。生物多样性指数的分布特征与物种数基本一致,呈现出西部丘陵区较高、东部平原区和巢湖较低分布特征。流域内各水系的优势种也有差异,杭埠河的优势种数目最多,十五里河的优势种数量仅有1种,为耐污种霍甫水丝蚓。

巢湖流域发现水生植物123种,隶属于43科、85属,以喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、芦苇(*Phragmites australis*)、菹草(*Potamogeton crispus*)、菱(*Trapa sp.*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、黑藻(*Hydrilla verticillata*)、蔊草(*Phalaris arundinacea*)等为优势种。水生植物物种丰富度指数、多样性指数、优势度指数和均匀度指数均表现为西部丘陵区>东部平原区>巢湖湖滨带。水生植被群落的分为2个植被型组、4个植被型、2个植被亚型和23个群系。

巢湖流域共发现鱼类60种,隶属于8目、17科。同历史数据相比,鱼类多样性明显下降,洄游鱼类区域性灭绝。巢湖鱼类主要以鲤科鱼类为主,种类数减少。就河流鱼类而

言, 主要由定居性物种组成, 其物种数和物种组成的季节变化不明显, 但鱼类的个体数量特征季节差异显著。巢湖流域鱼类群落的空间变化较小, 二级河流的鱼类多样性高于其他等级河流, 西南森林区的群落结构显著区别于其他区域。

巢湖流域的河流、湖泊水生态健康均处于中等水平, 接近于良的下限。河流“优”和“良”的样点主要分布于西南山区、丘陵区域, “中”等级主要分布于东南部平原区域和流域丘陵岗地区域, “差”和“劣”的样点主要分布于南淝河和十五里河中下游区域。巢湖“优”等级的样点位于南部沿岸, “差”等级的样点位于巢湖西北部, 此外, 东半湖水生态健康评价得分高于西半湖。

本书共分十章, 第1章是对巢湖流域水生态相关背景的介绍, 第2章介绍了巢湖流域的水质特征, 第3章介绍了沉积物特征, 第4章~第9章分别就巢湖流域的浮游植物、着生硅藻、浮游动物、大型底栖动物、水生植物和鱼类做了介绍, 第10章评价了巢湖流域水生态健康。

本书的总体框架和内容由中国科学院南京地理与湖泊研究所的高俊峰构思和设计。第1章由张志明(中国科学院南京地理与湖泊研究所)撰写, 第2章由尹洪斌(中国科学院南京地理与湖泊研究所)撰写, 第3章由中国科学院南京地理与湖泊研究所的蔡永久和蒋豫撰写, 第4章由南京工业大学的夏霆、龙健和何涛撰写, 第5章由夏霆、狄文亮(南京工业大学)和龙健撰写, 第6章由温新利(安徽师范大学生命科学学院)撰写, 第7章由蔡永久和张又(河海大学)撰写, 第8章由刘坤(安徽师范大学生命科学学院)撰写, 第9章由严云志(安徽师范大学生命科学学院)撰写, 第10章由黄琪(江西师范大学)撰写。全书由高俊峰统稿和定稿。王雁、马晓华等整理了部分数据与参考文献, 并绘制了部分图件。

本内容的研究和出版得到水体污染控制与治理科技重大专项“重点流域水生态功能三级四级分区研究”(编号: 2012ZX07501002-008)、“巢湖湖滨带与圩区缓冲带生态修复技术与工程示范”(编号: 2012ZX07103003-04-01)等课题的支持。

本研究 and 书稿撰写过程中, 到多方面的关心与支持。在此谨向为本研究工作提供帮助与指导的单位、专家、学者, 参与本工作但未列出名字的其他专家、学者和研究生, 表示衷心感谢!

本书虽力求反映巢湖流域水生态系统时空特征和变化状况, 评价水生态健康状态和影响因素, 但由于条件所限, 书中不妥之处请广大读者批评指正。

作者

2015年12月

目 录

前言	
第1章 巢湖流域概况	1
1.1 流域气候与降雨径流	2
1.2 流域地貌与水系	8
1.3 流域水生态功能分区	17
1.4 流域社会经济	19
参考文献	24
第2章 水质特征	26
2.1 水质采样点设置与样品采集	26
2.2 水质分析方法	27
2.3 水体基本理化性质及分布特征	28
2.4 营养物质分布特征	37
2.5 重金属分布特征	50
2.6 水环境质量评价	61
2.7 入湖污染物状况	65
参考文献	67
第3章 沉积物特征	69
3.1 样点设置与样品采集	69
3.2 沉积物样品分析	70
3.3 营养物质	71
3.4 重金属	80
3.5 沉积物质量评价	95
参考文献	108
第4章 浮游植物	110
4.1 样点设置与样品采集	110
4.2 鉴定方法	111
4.3 种类组成及分布特征	111
4.4 数量特征	119
4.5 物种多样性	131
4.6 与环境因子的关系	143
4.7 历史变化	145
参考文献	146

第5章 着生硅藻	147
5.1 样点设置与样品采集	147
5.2 鉴定方法	148
5.3 种类组成及分布特征	149
5.4 数量特征	157
5.5 物种多样性	169
5.6 与环境因子的关系	181
5.7 历史变化	182
参考文献	183
第6章 浮游动物——轮虫	185
6.1 样点设置与样品采集	185
6.2 鉴定及分析方法	185
6.3 种类组成及分布特征	186
6.4 数量特征	190
6.5 物种多样性	197
6.6 与环境因子的关系	205
6.7 历史变化	206
参考文献	207
第7章 大型底栖动物	208
7.1 样点设置与样品采集	208
7.2 鉴定方法	208
7.3 种类组成	209
7.4 密度	216
7.5 优势种	224
7.6 物种多样性	228
7.7 功能摄食类群	239
7.8 与环境因子的关系	240
参考文献	243
第8章 水生植物	244
8.1 样点设置与样品采集	244
8.2 鉴定方法	245
8.3 种类组成及区系特征	245
8.4 数量特征	252
8.5 物种多样性	255
8.6 群落特征分析	264
8.7 历史变化	266
参考文献	266

第9章 鱼类	268
9.1 样品采集	268
9.2 样品鉴定	269
9.3 种类组成及分布特征	269
9.4 数量特征	275
9.5 物种多样性	280
9.6 典型流域鱼类群落特征	285
9.7 群落特征的多元分析	286
9.8 历史变化	291
参考文献	292
第10章 水生态健康评价	293
10.1 研究进展	293
10.2 健康参照状态	297
10.3 评价指标体系	298
10.4 指标计算方法	300
10.5 指标阈值及等级标准	302
10.6 调查样点健康评价结果	304
10.7 巢湖流域水生态健康评价	312
参考文献	319
附录1 水生生物群落物种多样性指数	323
附录2 巢湖流域水生生物名录	324
附2-1 浮游植物名录	324
附2-2 着生硅藻名录	333
附2-3 浮游动物(轮虫)名录	339
附2-4 大型底栖动物名录	341
附2-5 水生高等植物名录	348
附2-6 鱼类物种名录	352

Contents

Preface

1 Overview	1
1.1 Climate, precipitation and runoff	2
1.2 Landform and river system	8
1.3 Aquatic ecological function regionalization	17
1.4 Social and economic development	19
References	24
2 Water quality	26
2.1 Sampling sites and water samples collection	26
2.2 Analysis methods	27
2.3 Physical-chemical properties and the spatial distribution	28
2.4 Nutrients	37
2.5 Heavy metals	50
2.6 Water quality assessment	61
2.7 Pollutants into the lake	65
References	67
3 Surface sediments	69
3.1 Sampling sites and sediment samples collection	69
3.2 Analysis methods	70
3.3 Nutrients	71
3.4 Heavy metals	80
3.5 Sediment quality assessment	95
References	108
4 Phytoplankton	110
4.1 Sampling sites and samples collection	110
4.2 Identification methods	111
4.3 Species composition and spatial distribution	111
4.4 Quantitative characteristics	119
4.5 Species diversity	131
4.6 Relationships with environmental factors	143
4.7 Historical change	145
References	146

5	Periphytic diatom	147
5.1	Sampling sites and samples collection	147
5.2	Identification methods	148
5.3	Species composition and spatial distribution	149
5.4	Quantitative characteristics	157
5.5	Species diversity	169
5.6	Relationships with environmental factors	181
5.7	Historical change	182
	References	183
6	Zooplankton-Rotifer	185
6.1	Sampling sites and samples collection	185
6.2	Identification methods	185
6.3	Species composition and spatial distribution	186
6.4	Quantitative characteristics	190
6.5	Species diversity	197
6.6	Relationships with environmental factors	205
6.7	Historical change	206
	References	207
7	Benthic macroinvertebrate	208
7.1	Sampling sites and samples collection	208
7.2	Identification methods	208
7.3	Species composition	209
7.4	Density	216
7.5	Dominant species	224
7.6	Species diversity	228
7.7	Functional feeding groups	239
7.8	Relationships with environmental factors	240
	References	243
8	Aquatic macrophytes	244
8.1	Sampling sites and samples collection	244
8.2	Identification methods	245
8.3	Species composition and floristic characteristics	245
8.4	Quantitative characteristics	252
8.5	Species diversity	255
8.6	Community structure	264
8.7	Historical change	266
	References	266
9	Fish	268

9.1	Fish collection	268
9.2	Identification methods	269
9.3	Species composition and spatial distribution	269
9.4	Quantitative characteristic	275
9.5	Species diversity	280
9.6	Community structure of typical sub-basin	285
9.7	Multivariate analysis of fish assemblage	286
9.8	Historical change	291
	References	292
10	Aquatic ecological health assessment	293
10.1	Overview	293
10.2	Selection and characterization of reference conditions	297
10.3	Indicator system	298
10.4	Metric calculation	300
10.5	Evaluation criteria and grade	302
10.6	Assessment results of sites	304
10.7	Assessment results of sub-basin	312
	References	319
	Appendix 1 Species diversity indices of aquatic biological communities	323
	Appendix 2 Species list of aquatic biological communities	324
2-1	Taxa list of phytoplankton	324
2-2	Taxa list of periphytic diatom	333
2-3	Taxa list of rotifer	339
2-4	Taxa list of benthic macroinvertebrate	341
2-5	Taxa list of aquatic macrophytes	348
2-6	Taxa list of fish	352

第 1 章 巢湖流域概况^①

巢湖流域位于安徽省中部，属长江中下游北岸水系，流域西北以江淮分水岭为界，南临长江，西接大别山，东北邻滁河流域（水利部长江水利委员会，1999；赵济，1995；安徽省水利厅水利志编辑室，2010）。巢湖流域总面积为 $1.35 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，位于东经 $117^\circ 16' 54'' \sim 117^\circ 51' 46''$ ，北纬 $31^\circ 43' 28'' \sim 31^\circ 25' 28''$ ，约占安徽省总面积的 9.3%。其中，巢湖闸以上为 9153 km^2 ，巢湖闸以下为 4333 km^2 （安徽省水利厅水利志编辑室，2010）。流域地形总体上为由西向东渐低，流域西南部杭埠河上游为山区，海拔最高达到 1500m 左右，东北为丘陵及浅山区，沿江、沿湖为平原水网区，地面高程为 7.5 ~ 13.0m（王耀武等，1999）。流域内包括安徽省合肥市（合肥市辖四区、巢湖市 1 市，以及庐江、肥东、肥西、长丰 4 县），马鞍山市（含山县、和县），芜湖市（鸠江区、无为县），六安市（金安区、舒城县），安庆市岳西县，共 5 市、16 县（市、区）（高俊峰和蒋志刚，2012）（图 1-1）。

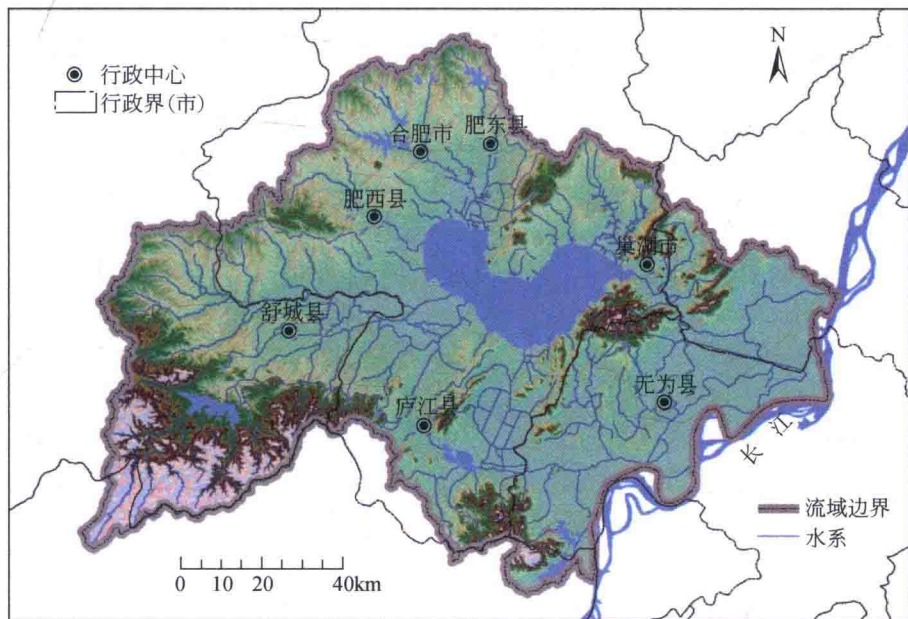


图 1-1 巢湖流域图

巢湖流域属于北亚热带湿润性季风气候区，多年平均气温为 16°C ，相对湿度为 76%，气候温和湿润，四季分明，雨量适中，热量丰富，无霜期较长，一般在 200 天以上（中国

^① 本章由张志明（中国科学院南京地理与湖泊研究所）撰写，高俊峰统稿、定稿。

科学院《中国自然地理》编辑委员会, 1984)。巢湖流域多年平均年降水量为 1215mm, 其中汛期 5~8 月降水量占年降水量的 51%。流域最大年降水量为 1986mm (1991 年), 最小年降水量为 672mm (1978 年)。多年平均年径流量为 59.2 亿 m^3 , 51% 的径流量集中在汛期 5~8 月 (中国河湖大典编辑委员会, 2010)。巢湖流域水资源量丰富, 境内有巢湖、黄陂湖、龙河口水库、董铺水库等湖泊和水库。流域多年平均水资源量为 65 亿 m^3 , 其中 5~9 月占 64% (中国科学院《中国自然地理》编辑委员会, 1985; 安徽省水利厅水利志编辑室, 2010)。

1.1 流域气候与降雨径流

1.1.1 气温

巢湖流域气温分布特点为西低东高, 西部及西南部山丘区气温较低, 东部平原区气温较高 (图 1-2), 多年平均气温为 16°C 。以巢湖流域合肥气象站为例, 该气象站气温年际变化明显, 呈现出波动上升的趋势, 且 1999~2009 年年均气温明显高于多年平均气温 (图 1-3), 这与长江流域多年平均气温的变化是一致的 (杨桂山等, 2009)。气象数据显示, 合肥气象站气温月际变化明显, 1 月多年平均气温最低, 为 2.5°C ; 7 月多年平均气温最高, 为 28.3°C (合肥站) (图 1-4)。极端最高气温为 41.0°C , 出现在 1959 年 8 月 23 日; 极端最低气温为 -20.6°C , 出现在 1955 年 1 月 6 日。

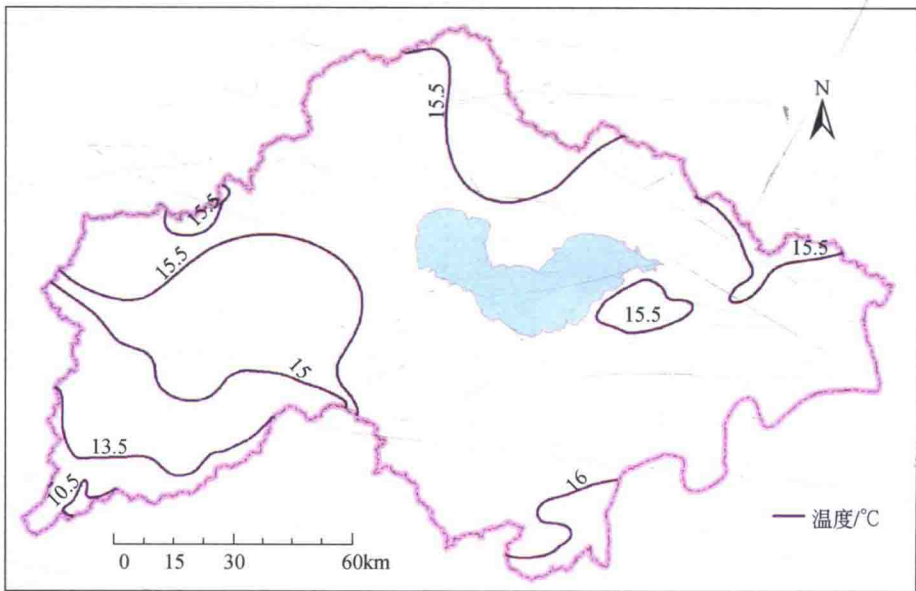


图 1-2 巢湖流域多年平均气温分布图

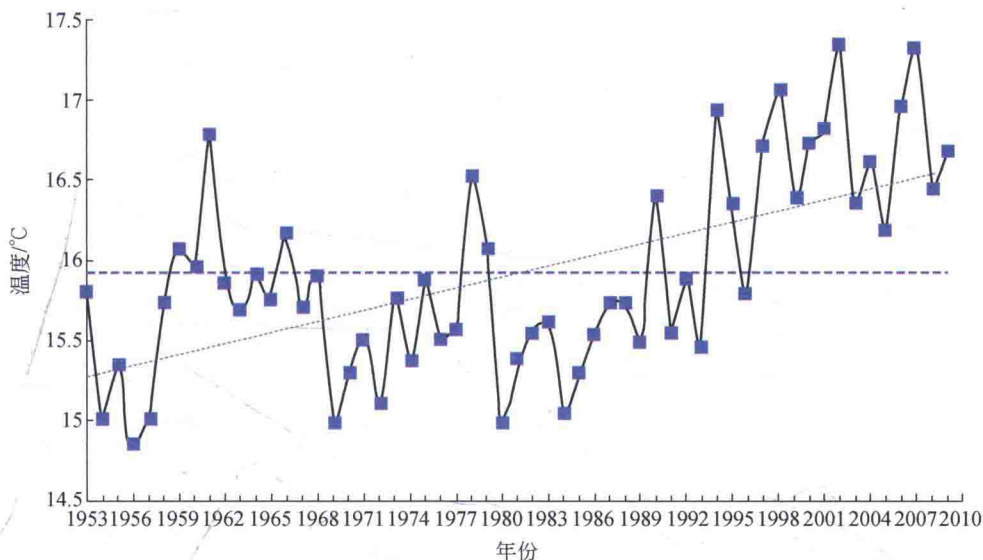


图 1-3 巢湖流域合肥站逐年平均气温

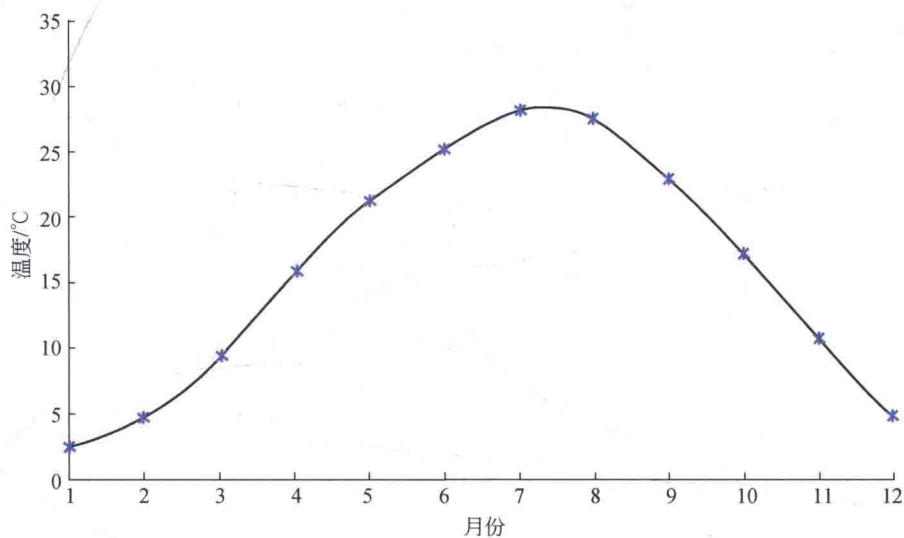


图 1-4 巢湖流域合肥站多年 (1953 ~ 2009 年) 月平均气温

1.1.2 降水

巢湖流域降水量空间分布特征为南高北低，南部及西南部山丘区降水量较高，北部及东部平原区降水量较低（图 1-5），多年平均降水量为 1215mm（中国河湖大典编辑委员会，2010）。以巢湖流域合肥气象站为例，该气象站多年（1953 ~ 2009 年）平均降水量年际变化较明显，2004 ~ 2009 年年平均降水量变幅较小（图 1-6）。

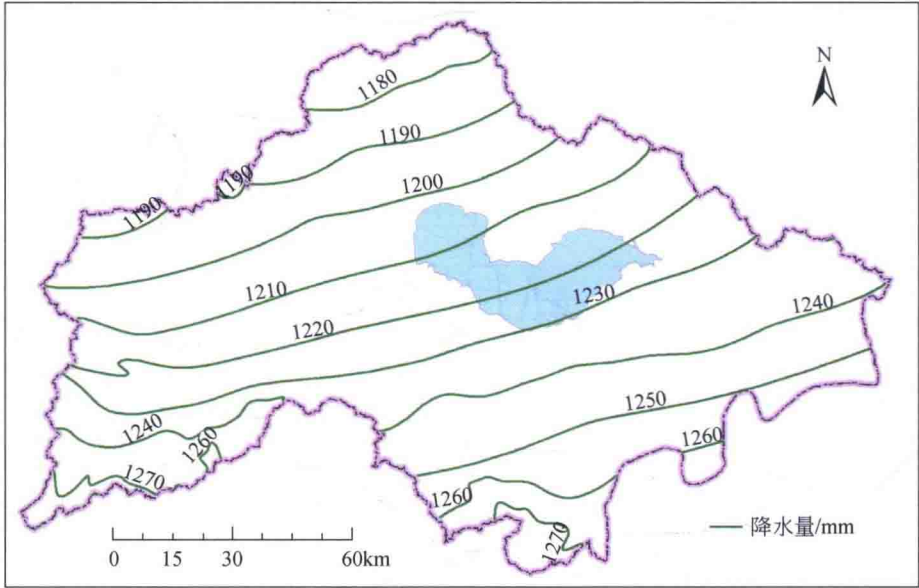


图 1-5 巢湖流域多年平均降水量分布图

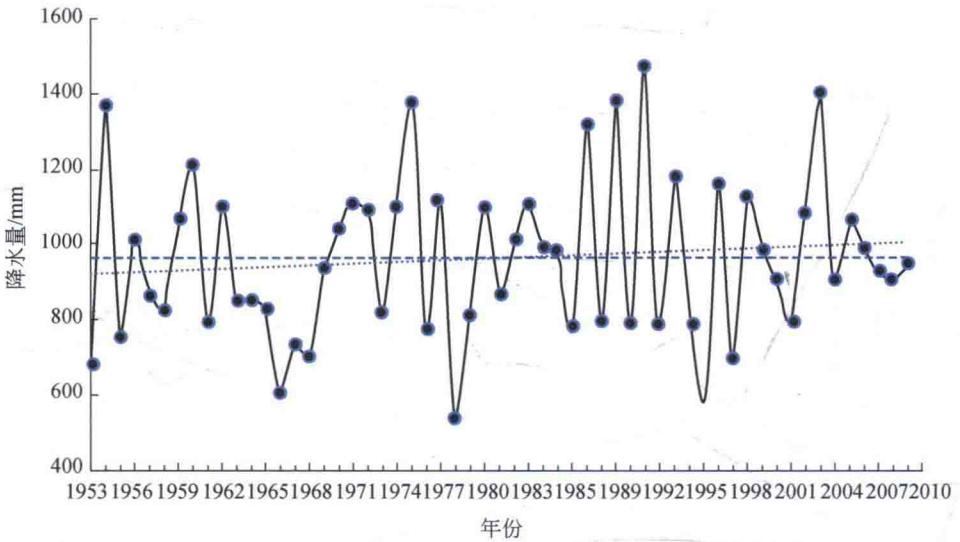


图 1-6 巢湖流域合肥站逐年平均降水量

气象数据显示，合肥气象站年内雨量分布不均，降水量月际变化明显，全年以夏季（6~8月）降水量最多，为410.1mm，占全年降水量的44.1%；春季（3~5月）降水量为248.0mm，占全年降水量的26.6%；秋季（9~11月）降水量为128.0mm，占全年降水量的13.8%；冬季（2~12月）降水量最少，为95.7mm，占全年降水量的10.3%。

逐月来看，合肥站12月平均降水量最低，为23.6mm，7月平均降水量最高，为168.7mm（图1-7），极端最大降水事件发生在1984年6月13日，24小时累积降水量达

到 238.4mm。

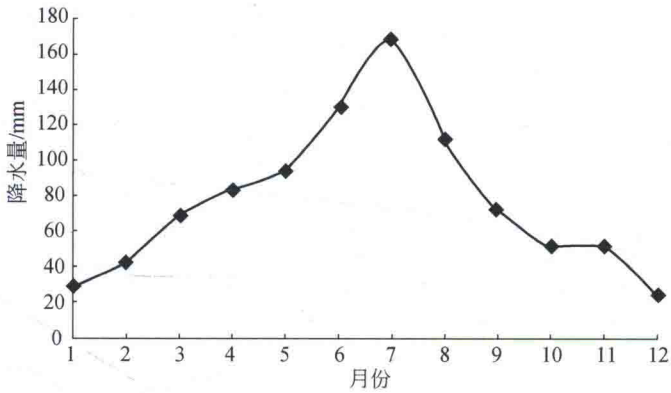


图 1-7 巢湖流域合肥站多年（1953~2009年）月平均降水量

1.1.3 蒸发

巢湖流域多年平均蒸发量为 1013.5mm，变幅为 915.9~1293.9mm。巢湖流域多年平均蒸发量平原大于山区，空间分布西南部最低，东南部次之，中部和北部较高（图 1-8）；巢湖流域多年平均蒸发量库区（水面）蒸发量大于陆地。多年平均蒸发量最高值出现在董铺水库监测站（1293.9mm），多年平均蒸发量最小的站点为毛坦厂站，其值为 831.5mm。

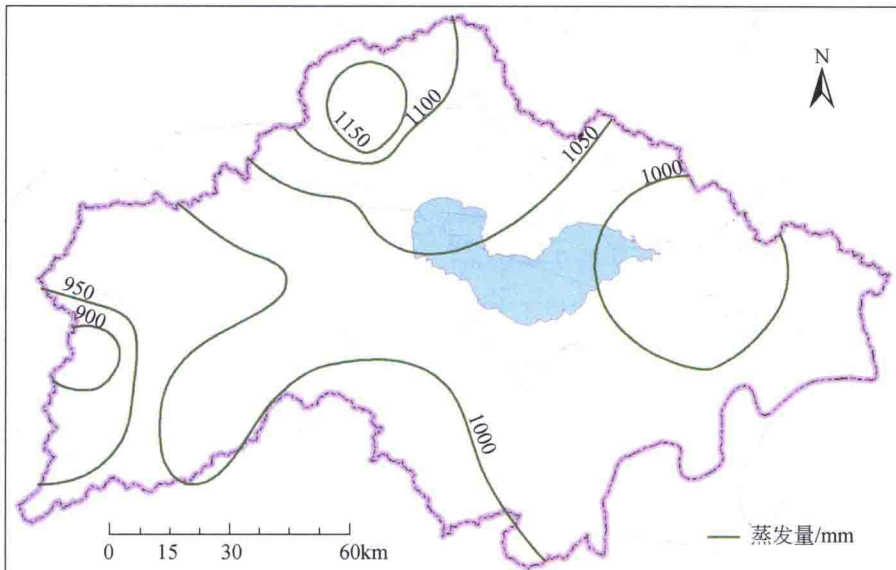


图 1-8 巢湖流域多年平均蒸发量等值线图