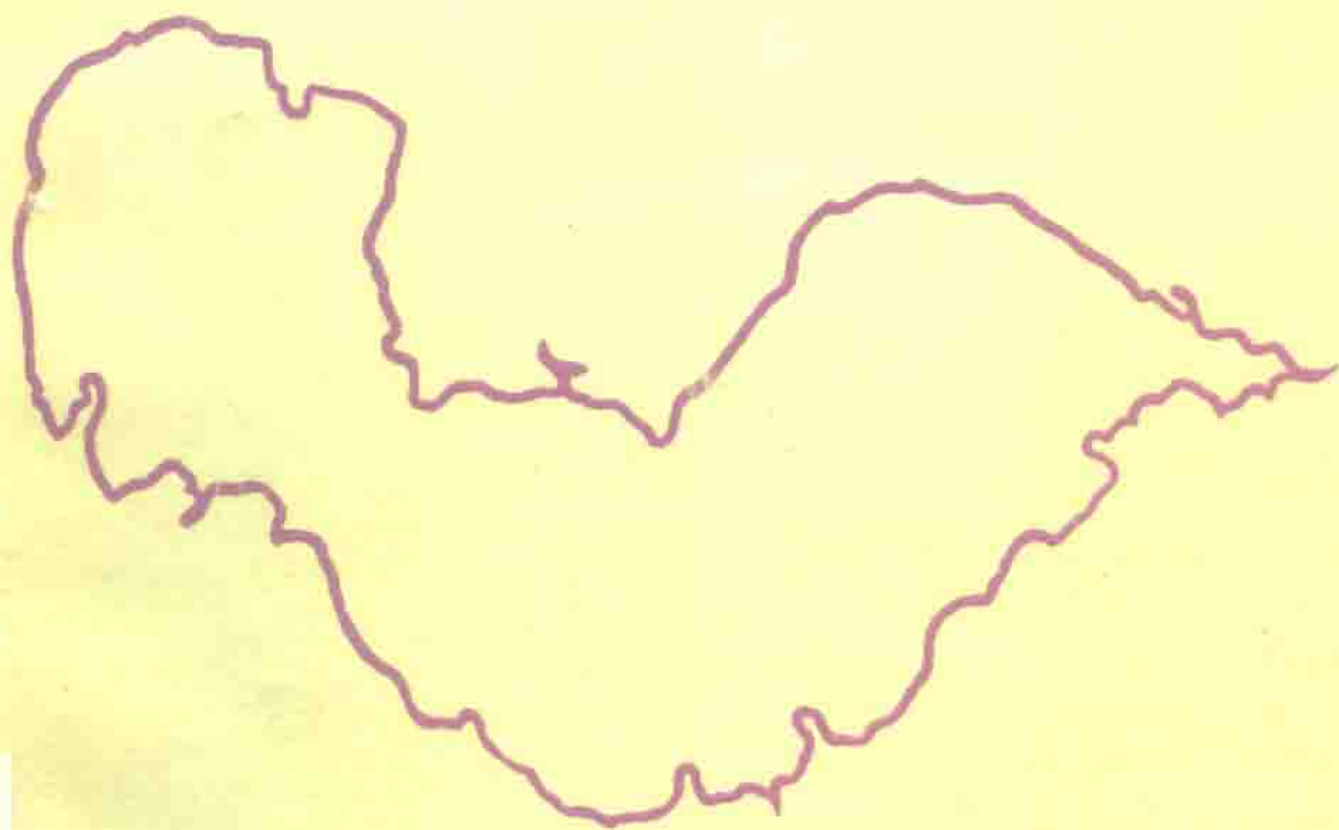


中国湖泊系列研究之二

巢湖

——富营养化研究



屠清瑛 顾丁锡 等著
尹澄清 徐卓然 韩久智

中国科学技术大学出版社

280

中国湖泊系列研究之二

巢 湖

——富营养化研究

屠清瑛 顾丁锡 等著
尹澄清 徐卓然 韩久智

中国科学技术大学出版社

1990·合肥

巢 湖

——富营养化研究

屠清瑛 顾丁锡 等著

尹澄清 徐卓然 韩久智

责任编辑：高哲峰 封面设计：王瑞荣

*

中国科学技术大学出版社出版

(安徽省合肥市金寨路96号, 邮政编码: 230026)

南京航空学院激光照排中心排版

中国科学技术大学印刷厂印刷

安徽省新华书店发行

*

开本: 787×1092/16 印张: 15 字数: 365千

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数: 1—2000册

ISBN7-312-00208-0/P·3 定价: 8.00元

内 容 简 介

本书通过对巢湖富营养化形成机制和防治措施的研究,从生态学和系统论角度,论述了大型浅水湖泊富营养化防治规划制定的方法和程序,对工作中涉及的一些技术要点如流域背景调查、富营养化状况评价、湖泊营养盐外负荷量、沉积物理化性质和水土界面交换、磷氮在湖体内的迁移转化、浮游生物量及其生态模型、湖泊流场和富营养化时空分布的数学模拟、湖泊功能区划和各功能区允许负荷量及削减量、富营养化防治途径和治理措施、湖泊环境管理等作了较为详细的介绍,并附有大量实例。

本书可供从事环境保护、生态、地理、城建、水利、水产、区域规划和管理等专业的科研、工程技术人员及大专院校师生阅读和参考。

中国科学院南京地理与湖泊研究所
中国湖泊系列研究编委会

主编：施雅风

编委：屠清瑛、濮培民

王苏民、朱松泉、伍贻范

《巢湖》著作人员：

屠清瑛 顾丁锡 尹澄清 徐卓然 韩久智

（以下按姓氏笔划为序）

马兵江	王焙华	卢 凡	叶诗鸣	兰俊英
兰智文	刘秀芬	孙顺才	朱素菊	汪水源
李文潮	张 红	陈伟民	沙贵业	张 琛
沈曾国	金传圣	金维根	祝心茹	赵顺锁
高锡芸	黄文钰	隋桂荣	程 炜	蒋佳昕
程 敏	韩晓钟	蒙仁宪	詹民淮	魏爱雪

总 序

中国的湖泊以其分布广泛,类型多样,成因复杂而著称于世。在北纬 23°—49°,东经 78°—132° 广阔范围内的各个自然地理带和不同气候类型区内,无论高山、平原、大陆、岛屿、沙漠区、沼泽区、干旱区、湿润区,均有天然湖泊分布。就其成因而言,有构造湖、火山口湖、冰川湖、堰塞湖、岩溶湖、风蚀湖、河成湖和泻湖等多种类型;其水化学类型也极为复杂,有盐湖、咸水湖、淡水湖等。

湖泊对于研究区域生态环境及其演变有着特殊重要的意义。首先,湖泊作为陆地水圈的组成部分,与大气圈、生物圈和岩石圈有着不可分割的密切联系,是各圈层相互作用的连结点,湖泊环境是其综合作用的结果。湖泊本身又是一个相对独立的自然体系,经历了较长的地质演化历史,对气候环境的波动极为敏感,同时,它又是湖区环境陆源性物质的储存库,并具有较高的沉积速率,忠实地记录了湖区各种气候和环境变化的信息。湖泊沉积的连续性及其剖面保存的完整性,使它成为揭示湖区现代和古代气候和环境变异的指示器;又由于湖泊分布的广域性,可以在大范围乃至全球范围进行对比研究,从而为全球气候变化研究服务。

其次,有史以来,湖泊就是人类赖以生存、栖息的基地,天然湖泊往往以其旖丽的风光,温润的气候,丰富的物产,吸引了众多的人们环湖定居,进而形成城市集镇,使湖区的经济文化更为繁荣昌盛。因此,天然湖泊常常被人们誉为“大地明珠”。近年来,湖泊环境污染和富营养化的程度日趋严重,环境质量退化,淡水资源不足,人类社会经经济活动受到严重的挑战,因而,研究现代湖泊的各种变化过程和机理,预测未来环境演变趋势,积极改善湖泊流域的生态环境,是刻不容缓的任务。

湖泊的丰富资源和多种功能,使它对国民经济的发展,具有特殊的作用。首先它是人们生活和工农业生产的供水水源,是人们生活和生产的命脉。我国 1km²以上天然湖泊总面积约占国土总面积的 0.8%,总蓄水量约 710km³,水库总库容约 430km³,这些湖泊与水库的水资源对解决水量供需矛盾,发展工农业生产,供给生活饮用等方面,无疑有着极为重要的作用。同时,湖泊还具有调节江河径流,减轻旱涝灾害,发展灌溉、水电、水产、航运、旅游等多种功能,对促进区域经济发展有着巨大作用。

其次,我国湖泊的生物资源极其丰富,对其开发利用和水产养殖已有悠久的历史。我国湖泊中现存藻类约 500 多种,水生维管束植物 70 多种,浮游动物约 340 种,淡水鱼类 800 多种。人工养殖经济鱼类已有几千年的历史,近年来又发展了湖蚌育珠,人工养虾、蟹等多种技术,在湖泊资源开发利用的广度和深度上,正向着社会经济、生态效益高度统一的方向发展。

最后,天然湖泊还是多种沉积矿床赋存的场所,例如:石油、天然气、煤、泥炭、蒸发盐类、硅藻土和沉积铀矿等,湖泊环境为这些矿产的形成、富集和演化提供了有利条件,进而使湖泊更具重要的经济意义。

鉴于上述各种缘由,湖泊研究已成为当前国内外地球科学家、环境科学家等共同瞩目的领域之一。我国现代湖泊学的研究主要是从解放后发展起来的,从 50 年代起,中国科学院的一些研究所和有关大学院系及水利、水产部门共同协作,开展了青海湖等 30 多个盐湖和五大淡水湖以及全国几十个中小型湖泊的大规模综合调查研究。此后,中国科学院又多次组织了青藏高原、横断山脉等综合科学考察,为这些地区的湖泊调查积累了宝贵的资料。70 年代后期以来,研究更加深入,对长江

中下游、云贵高原和蒙新干旱半干旱地区的主要湖泊,进行了比较系统的多学科的综合研究,如湖泊资源及其合理利用、湖泊沉积学、物理湖泊学、湖泊环境的保护以及湖泊生态学等,对我国湖泊科学的建立和发展作出了积极的贡献。

中国科学院南京地理与湖泊研究所,是较早综合研究湖泊的单位,在近 30 年的工作中,已逐步建立起一支专业比较齐全的湖泊研究和技术队伍。并运用遥感遥测,雷达,同位素,等离子光谱,电子计算机等各种先进观测实验仪器,应用数值模拟等新方法,比较深入地研究了我国的一些重要湖泊。在这些研究工作的基础上,为了加强学术交流和推进我国湖泊科学事业的发展,更好地为国民经济和国防建设服务,本所将连续组织出版中国湖泊系列研究专著,重点介绍关于青海湖、太湖、洪泽湖、岱海、巢湖、鄱阳湖、滇池、洱湖、洞庭湖、乌伦古湖等 10 个湖泊的最近的研究成果。希望对从事湖泊、水库的研究、教学和管理的专业人员有所裨益,对书中不当之处,敬请广大读者指正。

中国湖泊系列研究编委会

1990 年 6 月

序

水域污染与水资源短缺已成为当前全球生态环境危机的一大问题。其中水域的富营养化又是一个令人焦虑的严重问题。

我国湖泊水库众多,是支持生命系统的重要自然资源。随着经济迅速发展,人口过快增长,污染蔓延,生态恶化,湖泊水域富营养化问题日益尖锐,从多个方面影响着工农业生产、人民生活、饮水和旅游等正常进行。

巢湖是我国五大淡水湖之一,湖泊流域面积 13350 平方公里,历来是鱼米之乡。解放后大力发展工业,建立了许多新的城镇,人口密集,人类活动加剧,使巢湖富营养化程度日趋严重。研究富营养化发生发展机理、预测未来,及时提出防治措施,已成为各方面十分关注的问题。

巢湖富营养化研究课题组在短短三年内,攻克重重难关,以优异的成绩,圆满地完成了所担任的科研任务。同时提供了湖泊富营养化防治的宝贵经验,为该湖的治理提供了科学依据。

《巢湖——富营养化研究》一书的出版,表明我国在湖泊富营养化研究领域已迅速赶上国际水平,做出我国自己的特色。譬如:

(一)成功地应用生态学的理论和方法,开展湖泊水生生态系统及其全流域生态系统的全面研究。以自然、社会、经济复合生态系统的观点,全面揭示富营养化发生、发展的机制,从而提出水环境质量区划及允许负荷量,根据湖情、国情提供了生态环境建设和生态工程的规划方案。像这样全面、系统地综合研究的成果在我国还是首次,在国际上也是先进的。

(二)宏观与微观结合,野外调查观测与室内试验模拟结合,并采用先进方

法和技术手段,使研究走向定量化,大大提高了研究成果的科学水平。研究中采用 Cs-137、Pb-210 同位素测定法,使用沉积物逐日捕获器等,共取得水文、水质、生物、底质等重要基础数据近十万个,进而全面、系统地查清营养盐的来源和动态变化,并做出定量的翔实评价。这在国际大湖和浅湖的研究中居于前列。

(三)面对国际上研究的难点,知难而进。例如对水土界面营养盐的交换,微囊藻的培养,藻类生态模拟,大湖的水量平衡与营养盐平衡,富营养化时空分布的数学模拟等研究,都做出国际前沿的工作。

湖泊富营养化研究,在我国起步晚,《巢湖——富营养化研究》一书的出版,反映了我国湖泊和生态环境科学工作在急起直追,起点高,水平新;成就令人欣慰。为我国环境科学的发展做出了新的贡献!很值得广大读者学习、揣摩!

郭 方

1990年6月12日于合肥

前 言

巢湖位于长江和淮河之间的安徽省中部,距合肥市 15 公里,其水域面积约 800 平方公里,是我国著名的五大淡水湖之一,也是安徽省第一大湖。巢湖是其沿湖地区工农业生产和人民生活用水的重要水源,也是渔业生产的重要基地,其流域是淮河地区重要的粮食产区。党和政府历来十分重视巢湖资源的开发和环境保护工作。

然而,随着沿湖地区工农业生产的蓬勃发展和过快的人口增长,使污染湖泊的因素不断增多,尤其未经处理的城市污水大量入湖,农田化肥、农药的大量使用,上游水源林地的滥砍乱伐,水土资源的大量流失,使湖泊水体内营养物质不断积累,初级生产力不断提高,以致湖泊富营养化程度日趋严重,对沿湖地区工业生产和人民生活造成的危害也日益明显。位于塘西的合肥市第四水厂取水水源,1987 年就因藻类数量过多而被迫停产 1 个月,不仅损失了上亿元的工业产值,而且直接影响到人民生活用水的供给和安全。因此在发展生产的同时,控制和减轻巢湖的富营养化程度是实现沿湖地区总体发展战略目标的重要措施。

巢湖资源与环境中的问题一直受到有关科学、教育和生产部门的重视,60 年代初,中科院南京地理研究所、华东水利学院、安徽省水产研究所对巢湖的湖泊成因、湖泊特征、水产资源等进行过综合调查,合肥市环境监测中心站自 1978 年起对巢湖水系开展了常规水质监测,尤其是“六·五”期间安徽省环境保护科研所的“巢湖水域环境的生态评价及对策研究”对湖泊生态环境中存在的问题作了大量的调查研究。这些工作为该湖富营养化研究提供了丰富的背景资料。

为了从生态学观点出发并运用系统分析方法,揭示该湖富营养化形成、发展的机制,进而提出富营养化防治措施,我们根据“七·五”期间的科研成果,加以总结提高,编写成《巢湖——富营养化研究》专著,以供湖泊环境主管部门、科研部门和生产部门等有关同志参考。

参加本专著各章节编写的主要人员是:第一章徐卓然、汪水源,第二章高锡芸,第三章顾丁锡、魏爱雪,第四章孙顺才、韩晓钟、张琛,第五章尹澄清,第六章蒙仁宪(第一节)、汪水源、金传圣(第二节)、卢凡(第三节)、陈伟民(第四节)、第七章顾丁锡、黄文钰,第八章顾丁锡、黄文钰,第九章屠清瑛、顾丁锡、叶诗鸣,第十章韩久智(第一节)、尹澄清、兰智文(第二节)、李文潮(第三节)、叶诗鸣、兰俊英(第四节)。

在这基础上,由屠清瑛、顾丁锡进行修改整理和编写定稿。报告中全部图件由吕红妹清绘。

在本专著撰写过程中,曾经得到了不少国内外专家的支持,中国环境科学研究院刘玉生先生、安徽大学生物系给予了大力协作。安徽省水文站、省林业局、省农业局、巢湖地区水文

站、巢湖开发公司、巢湖沿湖市地环保局和环境监测站等部门和单位,提供了大量的湖泊水文气象和湖区环境监测资料,在此一并致谢。

由于本研究的范围广,涉及学科多,加之我们水平有限,报告中错误、缺点在所难免,敬请各位专家指教。

著者
1990.2

目 录

总序	(I)
序	(III)
前言	(V)
第一章 流域自然地理与环境特征	(1)
第一节 流域的自然地理特征	(1)
一、位置和面积	(1)
二、湖泊成因及其形态特征	(1)
三、地形和地貌	(3)
四、河流水系	(3)
五、地表岩性、成土母质、土壤类型	(6)
六、气象和水文	(6)
第二节 流域的社会经济状况	(8)
一、土地利用状况	(8)
二、自然资源状况	(10)
三、农业经济	(14)
四、工业经济	(14)
第三节 流域环境中存在的主要问题	(15)
一、水土流失问题尚未得到有效控制	(15)
二、人口倍增、土地资源缺乏后劲、林粮矛盾突出	(17)
三、化肥农药施用水平提高、农田营养盐流失严重	(19)
第二章 水域富营养化的现状评价	(21)
第一节 评价工作的程序和内容	(21)
一、评价工作的程序	(21)
二、评价工作的技术要点	(21)
第二节 评价的结果与讨论	(30)
一、湖泊营养状况总体水平的评价	(30)
二、局部水域富营养化状况的评价	(31)
三、评价主要结论	(32)
第三章 营养盐来源及其外负荷量	(33)
第一节 水资源和水平衡	(33)
一、水平衡方程	(33)
二、水平衡要素的确定	(33)
三、水平衡结果与讨论	(36)
第二节 营养盐平衡	(37)
一、平衡方程及平衡要素的确定方法	(37)

二、非点源入湖营养盐的确定方法	(39)
三、营养盐平衡清单与讨论	(44)
第三节 湖泊营养盐来源的评价	(45)
一、各种入湖途径营养盐的权重	(45)
二、点源和非点源入湖营养盐比重	(47)
三、各种土地利用类型的营养盐负荷	(48)
四、生活污水在入湖营养盐来源中的权重	(50)
五、入湖营养盐组成形态	(50)
六、入湖营养盐数量与湖区自然、社会经济的关系	(52)
七、矿区环境对入湖营养盐的影响	(53)
第四章 底质沉积及其水土界面交换	(56)
第一节 沉积物中营养盐含量及时空分布	(56)
一、营养盐含量的平面分布	(56)
二、营养盐含量的季节变化	(59)
三、各营养盐的比值状况	(59)
四、底质肥力状况的评价	(60)
第二节 沉积物理化性质及时空分布	(61)
一、沉积物物理性质	(61)
二、沉积物化学组成	(61)
第三节 底质沉积速率及沉积年代的测定	(63)
一、水沙平衡法	(63)
二、放射性同位素测定法	(64)
第四节 水土界面交换和营养盐内负荷的确定	(65)
一、现场测定法	(65)
二、室内模拟法	(67)
第五章 磷氮的迁移转化规律	(72)
第一节 湖泊的环境化学特征	(72)
第二节 入湖河水中磷氮的形态组成	(72)
第三节 湖水和藻体中磷氮的形态组成	(76)
一、实验方法	(76)
二、测定结果与讨论	(76)
第四节 磷在湖泊环境中的转化	(77)
第五节 氮在湖泊环境中的转化	(80)
第六章 浮游植物量及其生态模拟	(82)
第一节 浮游植物数量及其组成	(82)
一、调查测定方法	(82)
二、结果分析与讨论	(82)
第二节 浮游植物的初级生产力	(87)
一、调查内容和工作方法	(87)
二、浮游藻类的初级生产量	(88)
三、浮游植物生产量与主要环境因子的关系	(93)

第三节 微囊藻生长的限制因子及阈浓度	(96)
一、限制因子试验	(96)
二、生长阈浓度实验	(100)
第四节 浮游植物的生态系统模拟	(101)
一、工作程序	(101)
二、生态系统的结构框图	(102)
三、生态模型方程	(103)
四、方程的求解	(105)
五、模型参数的识别方法	(106)
六、生态模型的验证	(111)
七、模型的灵敏度分析	(111)
八、生态模型的简化	(113)
九、生态模型的应用	(114)
第七章 湖泊流场和浓度场的数学模拟	(118)
第一节 流场的数学模拟	(118)
一、流场的现场调查	(118)
二、流场数学模拟的技术要点	(119)
第二节 浓度场的数学模拟	(126)
一、模型方程	(126)
二、方程的差分表达式	(127)
三、边界条件和起始条件	(127)
四、方程的求解程序	(128)
五、参数识别	(128)
六、模型的验证	(131)
第八章 水环境质量区划及允许负荷量	(140)
第一节 水环境质量区划	(140)
一、区划的基本原则	(140)
二、区划的工作步骤	(140)
第二节 功能区的允许负荷量和削减量	(143)
一、计算的技术要点	(143)
二、允许负荷量的计算	(147)
三、削减总量的计算	(147)
第九章 富营养化治理途径及其环境管理	(151)
第一节 巢湖富营养化成因分析	(151)
一、外因	(151)
二、内因	(153)
第二节 富营养化治理的主要途径	(155)
一、对几个相互关系的认识	(155)
二、治理的主要途径	(156)
第三节 治理的主要技术措施	(157)
一、湖泊整体治理	(157)
二、塘西饮用水源功能区的治理	(162)

三、其他功能区的治理	(163)
第四节 湖泊的环境管理	(165)
一、管理的基本原则	(165)
二、管理的主要任务	(166)
三、当前巢湖环境管理的主要任务	(166)
第十章 富营养化防治措施的研究	(170)
第一节 南淝河及施口湖区的水质规划	(170)
一、目的意义	(170)
二、规划的原则	(170)
三、规划的工作程序	(171)
四、规划的技术要点	(171)
五、规划的主要结论	(197)
第二节 抑制藻类生长实验	(198)
一、实验方法	(199)
二、实验结果	(201)
三、讨论	(203)
四、应用前景	(206)
第三节 水生植物净化试验	(206)
一、目的与意义	(206)
二、研究方法	(207)
三、结果与讨论	(208)
四、应用前景	(212)
第四节 藻类的回收利用试验	(214)
一、饲养试验	(214)
二、湖鲢加工藻粉试验	(219)
附录一 专题报告目录	(223)
附录二 主要参考资料	(224)

A series researches on Lakes of China

THE CHAO LAKE

—STUDY ON EUTROPHICATION

CONTENTS

General Preface	(I)
Preface	(III)
Foreword	(V)
1 Physical-geographic and environmental features of drainage basin	(1)
1.1 Physical-geographic features of drainage basin	(1)
a. Situation and area	(1)
b. Lake-formation causes and morphological features	(1)
c. Topography and geomorphology	(3)
d. Stream system	(3)
e. Rocky nature on the land surface, soil-formation parent material and soil types	(6)
f. Meteorology and hydrology	(6)
1.2 Social economic situation of drainage basin	(8)
a. Land-used situation	(8)
b. Natural resources	(10)
c. Agricultural economy	(14)
d. Industrial economy	(14)
1.3 Principal issues existing in basin environment	(15)
a. Not yet being able to control soil and water erosion	(15)
b. Population increasing rapidly, shortage of soil resources and sharp contradiction between forestry and food production	(17)
c. Increasing use of chemical fertilizers and pesticides and a great loss of nutrient salts in the arable land	(19)
2 The current condition assessment of eutrophication in water space	(21)
2.1 Procedure and content of assessment	(21)
a. Assessment procedure	(21)
b. Principal technical points of assessment	(21)
2.2 Outcome of assessment and discussion	(30)
a. General assessment of lake eutrophication status	(30)
b. Assessment of eutrophication status in partial water area	(31)
c. Assessment of the major conclusions	(32)

3	Sources of trophic salts and amount of outer load	(33)
3.1	Water resources and water balance	(33)
a.	Water balance equation	(33)
b.	Determination of water balance elements	(33)
c.	Outcome of water balance and discussion	(36)
3.2	Trophic salt balance	(37)
a.	Balance equation and method of determining balance elements	(37)
b.	Method of determining lake-inputting trophic salts from non-point sources	(39)
c.	Trophic salt balance inventory and discussion	(44)
3.3	Assessment of lacustrine salt sources	(45)
a.	Weight of lake-inputting salts from different ways	(45)
b.	Proportion of lake-inputting salts from both point source and non-point sources	(47)
c.	Salt load of each types of land use	(48)
d.	Weight of municipal sewage among all lake-inputting salts	(50)
e.	Component pattern of lake-inputting salts	(50)
f.	Relation of the amount of lake-inputting salts to nature, society and economy of lake district	(52)
g.	Impact of mine area conditions on lake-inputting salts	(53)
4	Deposition as well as exchange on boundary surface between water and bottom sediment	(56)
4.1	Trophic salt contents in sediment and their distribution	(56)
a.	Plane distribution of trophic salt contents	(56)
b.	Seasonal change of trophic salt contents	(59)
c.	Proportionality between each kind of salts	(59)
d.	Assessment of bottom sediment fertility	(60)
4.2	Both physical and chemical properties and time and spatial distribution of sediment	(61)
a.	Physical property of sediment	(61)
b.	Chemical property of sediment	(61)
4.3	Determination of depositional velocity and date of bottom sediment	(63)
a.	Balance way of water and sand	(63)
b.	The determination way of radioactive isotope	(64)
4.4	Exchange on boundary surface between water and sediment and determination of inner trophic salt load	(65)
a.	Field determination way	(65)
b.	Indoor modelling way	(67)
5	Moving and converting regularity of nitrogen and phosphorus	(72)
5.1	Lacustrine environmental chemical characteristics	(72)
5.2	Pattern and component of nitrogen and phosphorus in lake-inputting water	(72)
5.3	Pattern and component of nitrogen and phosphorus in lake water and algae	(76)
a.	Experience methods	(76)