

►太湖流域水生态功能分区与质量目标管理技术示范(2008ZX07526-007)系列丛书◀

太湖流域 水生态服务功能评估

TAIHU LIUYU SHUISHENGTAI FUWU GONGNENG PINGGU

张彪 王斌 杨丽韞 等 编著

中国环境科学出版社

太湖流域水生态功能分区与质量目标管理技术示范（2008ZX07526-007）系列丛书

太湖流域水生态服务功能评估

张彪 王斌 杨丽韞 等 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

太湖流域水生态服务功能评估/张彪等编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2011.11

(太湖流域水生态功能分区与质量目标管理技术示范
(2008ZX07526-007) 系列丛书)

ISBN 978-7-5111-0777-0

I. ①太… II. ①张… III. ①太湖—流域—生态系统—评价 IV. ①X832

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 238099 号

审图号: GS (2012) 267 号

责任编辑 刘 焱 李恩军

文字加工 李兰兰

责任校对 扣志红

封面设计 彭 杉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 2 月第 1 版
印 次 2012 年 2 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 10.25 插页 13
字 数 243 千字
定 价 36.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

丛书编辑委员会

顾 问：李文华

主 任：闵庆文

委 员：（以姓氏笔画排列）

王西琴 刘子刚 刘庆生 刘高焕 杨丽韞
张 彪 陈宇炜 邵晓阳 范亚民 金 均
逢 勇 姚玉鑫 徐鹏炜 高永年 高俊峰
黄 燕 崔云霞 焦雯珺 谢卫平 滕加泉
颜润润

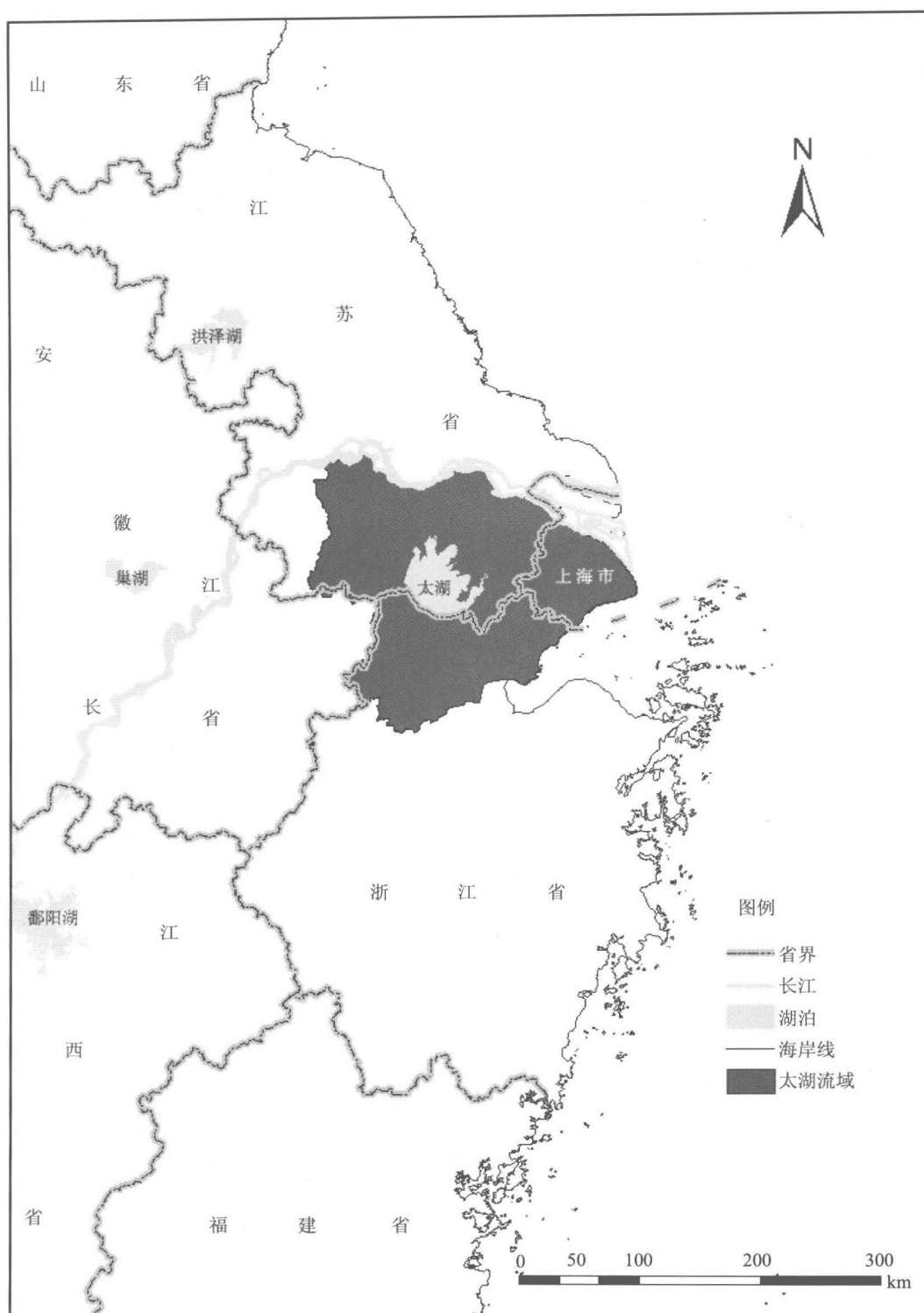
本书编写委员会

主 编：张 彪

副主编：王 斌 杨丽韞

编 委：（按姓氏笔画排列）

李 远 伦 飞 刘某承 严玉平 杨艳刚
杨校生 何玉丹 张灿强 陈宇炜 邵晓阳
格日乐图 高永年 高俊峰 彭 奎 董敦义
潘春霞



太湖流域地理位置图

序

我国长期以来面临着水体污染、水资源短缺、水生态退化和洪涝灾害等多个方面水问题的压力，而水体污染在一定程度上加剧了其他三种水问题的恶化程度，造成一些地方水质性缺水、水环境恶化、洪涝灾害损失加大等现象。虽然从中央到地方大规模开展了流域水体污染防治，取得了一些成效，但从总体上来看，我国水体污染仍将是今后相当长时期内制约经济社会可持续发展的关键因素。“水体污染控制与治理”科技重大专项（简称水专项）应运而生、适得其时。

太湖流域地理位置优越，气候宜人，自然资源丰富，历史上是著名的富庶之地，目前更是我国经济最发达、人口最密集、城市化程度最高的地区之一。但同时也必须看到，太湖流域在取得经济快速发展的同时，也付出了沉重的生态环境代价，流域生态环境问题积重难返。太湖蓝藻暴发事件的频繁发生，折射出太湖水生态系统健康状况的衰退。据 2011 年 5 月公布的《2010 年江苏省环境状况公报》，太湖湖体高锰酸盐指数和总磷分别达到Ⅲ类、Ⅳ类标准限值要求，受总氮指标影响全湖总体水质仍劣于Ⅴ类标准；太湖湖体综合营养状态指数为 58.5，仍呈富营养化水平；太湖 15 条主要入湖河流中，有 4 条河流平均水质符合Ⅲ类标准，1 条河流水质劣于Ⅴ类标准，其余处于Ⅳ类和Ⅴ类。

国家对太湖流域的水环境问题一直十分重视，将太湖治理列为国家“三江三湖”重点治理计划，先后实施了太湖水污染防治“十五”计划和“十一五”计划。太湖流域各级政府也十分关注流域的水环境问题，出台了一系列水环境管理政策，相继开展了生态省市建设、流域污染控制、节能减排、湖泊生态治理工程等，并实施了较为严格的污染排放限制。然而，太湖流域的水环境问题并没有得到有效解决，太湖水体环境质量也未得到根本性改变。原因是多方面的，其中现行的总量控制制度在具体应用中存在的污染控制与水生态保护相脱节、排放达标控制与环境质量达标相脱节、以行政区为单元的环境功能区划分与流域水污染调控相脱节等无疑是很重要的方面。因此，在借鉴国外水环境管理先进理念和方法的基础上，探索建立一套适合于我国国情、科学合理的水质目标管理技术体系并进行示范应用，对于太湖流域水生态系统健康和水环境质量改善具有重要意义。

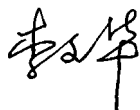
由中国科学院地理科学与资源研究所牵头并联合中国科学院南京地理与湖泊研究所、江苏省环境科学研究院、浙江省环境保护科学与设计研究院、中国人民大学、常州市环保局、宜兴市环保局、湖州市环保局等单位承担的“太湖流域水生态功能分区与质量目标管理技术示范”课题（2008ZX07526-007），作为水专项首批启动的课题之一，便是面向太湖流域水环境管理工作的实际需求而设立的。课题旨在构建面向水生态系统健康的新型水环境管理技术体系，从而实现太湖流域水环境管理工作的开拓与创新，并确保太湖流域污染物减排目标的顺利实现。

自课题启动以来，课题组在太湖流域开展了大量实地调查工作，如土地利用遥感解译、水生态系统调查、水环境质量监测、社会经济调查等，并取得了一系列具有创新性、前瞻

性和可操作性的研究成果。首次提出了湖泊型流域水生态功能区划分的理论和技术体系，并完成了太湖流域水生态功能三级分区划分方案；首次提出了湖泊型流域控制单元划分的原则、思路、指标和方法，完成了太湖流域控制单元的划分；首次提出了太湖流域基于控制单元的水质目标管理技术体系框架（TMML），开发了太湖流域水质目标管理系统，编写了指导手册，并在典型区进行了示范应用。这套《太湖流域水生态功能分区与质量目标管理技术示范（2008ZX07526-007）系列丛书》正是这个团队所取得成果的集中体现。

必须承认，太湖流域水环境质量的根本改善是一项长期而艰巨的任务，不可能一蹴而就，需要多学科和社会各方力量的共同努力，该课题组的工作虽然取得了一系列创新性成果，但无论从理论研究还是应用示范，仍需要不断的改进与完善。相信他们的成果对于我国水环境管理，特别是太湖流域水质目标管理将起到有力的推动作用，对于我国水环境管理体制与机制的创新和水环境质量的根本好转也将发挥重要的作用。

中国工程院院士



2012年2月18日

前 言

太湖是我国五大淡水湖之一，位于江苏、浙江两省交汇处，长江三角洲的南部。太湖流域总面积达到 3.69 万 km²，是我国人口最密集、经济最发达、发展最迅速的地区之一。随着流域地区经济的高速发展和城市化进程的加剧，一方面，人们对水资源的需求越来越高，水资源不仅要满足人们的生活、生产等物质文化需要，还要满足人们的娱乐、休闲等精神文化需要；另一方面，太湖流域水体污染进一步加重，水体富营养化发展迅速，水环境明显恶化。2007 年太湖蓝藻提前大面积暴发，部分水源地水质严重恶化，这一水污染事件导致了部分城市饮水困难，严重影响了当地居民的饮水卫生和身体健康。大量研究表明，当前太湖流域水问题主要表现在水质的持续恶化以及由此产生的水质性缺水问题。

造成太湖水体恶化和富营养化的原因是多方面的，但是归纳起来主要有两点，一是太湖水体天然结构特征方面的原因，二是人类生产、生活活动干扰的原因。由于与长江水体之间引排系统不畅造成湖水更新速度缓慢，加之是浅水型湖泊这一湖体结构固有弱点加剧了流域水体水环境恶化程度；同时，湖泊内源污染也是太湖富营养化的重要原因。人工修建水库改变了流域内河流形态及生境，围网养殖和周边农业非点源污染、工业和生活污水排入都造成流域内河网水系污染严重。

流域在区域尺度上是一个大的系统，由流域内的诸多类型生态系统构成，流域系统中出现的水质污染、水土流失、水质恶化等水问题是系统构成组分的结构、功能发生改变形成的。针对这些问题，许多学者在水环境管理、水污染治理、水土流失防治、生态系统管理方面都进行过研究和论证，并基于自身学科背景提出解决方案，力图实现流域水环境质量、水资源状况改善，实现流域的可持续发展。由于流域是一个复杂的系统，其社会、人口、资源、环境或经济中的任何要素若要实现“持续性”的目标，都离不开其他几个要素的配合。因此有必要将全流域整体作为一个系统加以综合研究，统筹考虑，以便为流域开发、管理、协调和治理提供理论基础。

本书从太湖流域当前的水环境问题出发，基于流域生态系统综合管理的角度，应用流域系统论、生态学和环境科学的基本理论和研究方法，调查评估了太湖流域生态系统状况，对太湖流域水环境与水生态问题进行识别，重点评估太湖流域 9 类生态系统的 11 项关键水生态服务功能。同时对太湖流域、三级功能分区以及控制单元三个尺度上的水生态服务功能特征进行了分析，并提出了相应的资源利用和生态保护的方向。

本书是多位一线科研工作者的集体成果，其中中国科学院地理科学与资源研究所的张彪博士负责全书的内容设计以及生态系统类型与水生态服务功能指标的选择，杨艳刚和张

灿强博士分别针对农田生态系统和森林生态系统的水生态功能进行了研究；北京科技大学的杨丽韞讲师对城镇绿地生态系统的水生态服务功能进行重点研究，中国林科院亚热带林业研究所的王斌博士重点开展了水域生态系统服务功能的研究。此外，南京地理湖泊所的陈宇玮研究员以及杭州师范大学的邵晓阳教授提供了太湖流域水生态调查内容，南京地理湖泊所的高俊峰研究员与高永年博士介绍了太湖流域三级水生态功能分区与控制单元的划分技术。

本书在编写过程中，同时得到了中国科学院地理科学与资源研究所李文华院士、闵庆文研究员、刘高焕研究员等人的指导，以及浙江省安吉县林业局、湖州市生态环境监测站、江苏省常州市环保局等单位的大力支持，在此一并表示衷心的感谢！

由于本书涉及内容广泛，限于编者水平，错、漏和不当之处在所难免，诚恳希望读者予以指正，以便进一步修改和增补。

编 者
2011 年 4 月

目 录

1	绪论	1
1.1	太湖流域水生态环境问题	1
1.2	生态服务功能	4
1.3	生态服务功能研究进展	7
1.4	水生态服务功能及其研究进展	11
2	太湖流域生态系统特征分析	13
2.1	太湖流域概况	13
2.2	太湖流域生态系统类型	14
2.3	太湖流域各类生态系统特征	20
2.4	太湖流域生态系统景观特征	27
3	太湖流域生态系统实地调查	32
3.1	太湖流域水生生物调查	32
3.2	太湖流域森林土壤养分调查	41
3.3	太湖流域园地土壤养分调查	50
3.4	太湖流域城镇绿地生态调查	57
3.5	太湖流域湿地水质与底泥调查	60
4	太湖流域水生态服务功能识别	65
4.1	太湖流域水域生态系统服务功能	65
4.2	太湖流域陆地生态系统的水服务功能	69
4.3	太湖流域水生态服务功能分类体系	73
5	太湖流域水生态服务功能的评估方法	77
5.1	水域生态系统服务功能	77
5.2	陆地生态系统的水生态服务功能评估技术	82
5.3	水生态服务功能重要性的评估技术	88
6	太湖流域水生态服务功能案例研究	90
6.1	太湖流域水生态系统服务功能研究	90
6.2	太湖流域城镇绿地系统水生态服务功能研究	95
6.3	太湖流域森林生态系统水源涵养功能特征的研究	103

6.4 太湖流域安吉县绿地生态系统水生态服务功能 106

6.5 太湖流域安吉县森林水源涵养功能评估 110

6.6 太湖流域安吉县森林控制养分流失功能及价值评估 116

7 太湖流域不同尺度水生态服务功能特征 120

7.1 流域尺度水生态服务功能特征 120

7.2 三级分区水生态服务功能特征 123

7.3 控制单元水生态服务功能特征 129

参考文献 135

附 表 145

附 图 153

1 绪论

1.1 太湖流域水生态环境问题

1.1.1 水资源问题

太湖是我国第三大淡水湖泊，水资源储存量大，是上海、苏州、无锡等大中城市的水源地。此外，太湖地区水网密布，河网面积为 2492.78 km^2 ，占太湖流域总面积的 7.1%，占太湖地区水域面积的 47.7%，其自然水系主要有苕溪、南溪和黄浦江等。丰富的湖泊水资源是太湖流域社会经济发展的基础条件。不过随着流域内人口的快速增长和社会经济的高速发展，自 20 世纪 70 年代以来的太湖流域湖泊水域面积出现减少与湖泊水面的萎缩状况，河湖水质恶化，造成局部地区出现水质性缺水现象，同时由于降雨年际之间分配不均也造成个别年份出现洪涝灾害，这些水资源问题影响了太湖地区生态环境与社会经济的持续发展。

1.1.1.1 洪涝灾害时有发生

太湖流域水资源储量虽然丰富，但是在降雨量较多年份仍然会发生洪涝灾害并造成一定损失。相对集中且强的降水过程是造成洪涝灾害的直接原因。比如 1991 年是太湖流域 140 多年以来的最大梅雨年份，梅雨持续时间 56 天，梅雨期间降水量 790 mm，1991 年洪水期太湖最高水位 4.79 m，超出 1954 年洪水位 4.65 m（国家环境保护局，1996）。据估算，1991 年的特大洪涝灾害，造成太湖流域的直接经济损失近 100 亿元，间接经济损失达 200 亿元；1993 年太湖流域再次发生洪涝灾害，仅苏州市的直接经济损失就达到 9 亿元（王同生，1994）；此外，1995 年太湖流域东南部也发生了严重洪涝灾害（林泽新等，1996）。

1.1.1.2 湖泊水面不断萎缩

自 20 世纪 70 年代以来太湖流域主要湖泊的水域面积一直处于萎缩状态。1971—2002 年，水域面积减少 $188\,187\text{ km}^2$ ，平均每年减少水域面积 $5\,190\text{ km}^2$ ，但不同时期的水域面积减小程度表现出很大差异。1971—1988 年，水域面积减少 $159\,196\text{ km}^2$ ，平均每年水域面积减少 $8\,189\text{ km}^2$ ，其中太湖上游地区湖泊水域面积减少量占同期减少量的 91%。究其原因，泥沙淤积、湖泊围垦和围湖造田是造成湖泊水面减少的主要原因。

1.1.2 水环境问题

自 20 世纪 80 年代起，太湖地区工农业生产迅猛发展和人口高密度分布，造成湖泊水资源短缺、水环境恶化和生态系统退化局面，特别是富营养化问题，已严重威胁到流域社

会经济的可持续发展和人类健康。整体而言,目前太湖已处于中度富营养状态,部分区域已呈严重富营养化。主要污染是总磷(TP)、总氮(TN)和COD,尤其是TP污染严重(成芳等,2010)。

1.1.2.1 河网水系污染严重

太湖流域是典型的平原河网地区,流域河道总长12万km,河道密度每平方公里达到3.3km。2005年对2700km河道评价中,全年期河道水质为Ⅳ、Ⅴ类的占总河长的89%,劣Ⅴ类的占总河长的11%。环太湖周围有215条通湖大小河流,绝大多数入湖水质为Ⅴ类或劣Ⅴ类。2006年监测资料显示,太湖年入湖水量70亿 m^3 ,其中江苏段入湖53.8亿 m^3 (不含引江入湖水量6.17亿 m^3),Ⅲ类水只占0.04%,Ⅳ类水也只有0.07%,Ⅴ类水占13.60%,劣Ⅴ类水占86.30%,河流水质污染形势严峻(吕振霖,2007)。

1.1.2.2 湖泊内源污染加重

太湖湖体水动力性能差,交换周期长,导致湖内污染物积累日益加重。据水利部太湖流域管理局《太湖底泥疏浚规划报告》研究结果,太湖湖底淤积面积1547 km^2 ,占全太湖面积的66%,其中竺山湖、梅梁湖、贡湖和东太湖及入湖河口底泥污染最为严重,普遍淤深0.8~1.5m,成为太湖水体污染的主要内源。此外,太湖中氮的内源释放贡献量约占全湖氮总负荷量的22.5%,磷的内源释放贡献量约占全湖磷总负荷量的25.1%,严重的内源污染是太湖富营养化的一个重要根源。

1.1.2.3 水库周边污染源危害水质

水库污染物主要来源于库区的工业废水、农田排水、城镇污水、大气沉降物以及养殖水体的过量施肥投饵。污染物主要包括耗氧有机物质、植物营养物、重金属、农药、石油类、酚类、氰化物、热、酸碱及一般无机盐类、病原微生物等。由于太湖地区经济的快速发展,入湖污染物排放量日益增加,甚至超过了水体自净能力,导致水质恶化,降低或破坏了水的使用价值,扰乱了水生态系统的稳定性及正常功能。此外,氮、磷等有机物的大量排入,水体呈富营养化状态,丧失了水的使用价值,造成水质性缺水,影响人们的饮水安全(陈文祥等,2006)。

1.1.2.4 化肥施用过量导致污染负荷加大

太湖流域农业集约化程度较高,农田非点源污染物质也是导致太湖水体富营养化的重要原因。与第二次全国土壤普查时相比,太湖流域的农田养分含量都有较大幅度的提高。潘根兴等(2003)调查发现,20世纪90年代末期常熟市年化肥施用量691.5 kg/hm^2 ;但多数学者认为普通黄泥土稻麦两熟制最佳经济施氮量和生态施氮量分别为336.3 kg/hm^2 和281.9 kg/hm^2 ;常熟乌栅土、黄泥土两季经济施氮量为405~495 kg/hm^2 (朱兆良,2001;中国科学院南京分院,1996;晏维金等,1999;马立珊等,1992)。随着太湖地区测土配方施肥政策的逐步推广与落实,有助于减少农田化肥污染负荷压力。

1.1.2.5 沟渠是农业污染源重要传播途径

太湖流域乡村生活污水及农户畜禽养殖尾水的排放,具有面广、量大、分散、间歇的峰值和高无机沉淀物负荷的特点,且太湖地区许多沟渠塘由于缺乏管理,淤积严重,杂草丛生,不仅无法有效拦截农田径流氮磷流失直接进入水体,同时又成为乡村生活污水、分散畜禽养殖尾水的排放通道和固体废弃物的堆积场所,是农业污染源的重要传播途径。此外,大量植株残体腐败时严重污染水体,同样也影响沟渠湿地的生态服务功能

(陆海明等, 2010)。

1.1.2.6 围网养殖加剧水体富营养化

太湖流域的淡水养殖业非常发达, 太湖流域的渔业养殖发达, “太湖三白”(白鱼、白虾、银鱼) 是全国知名的美味佳肴, 利润丰厚。近年来, 太湖渔业养殖规模急速扩张, 沼泽化趋势明显。太湖地区围网养殖带来的问题主要是投放饵料过剩, 作为有机物的饵料沉入湖底腐烂降解后, 会加剧水体富营养化。测定结果显示, 围网养殖饵料利用率仅为 30%~40%, 围网养殖水域的氨、氮浓度明显高于非养殖水域。

1.1.3 水土流失问题

太湖地区丘陵约占总面积的 20%, 降雨量较丰沛, 并且季风性气候特征使该地区降雨比较集中、降雨强度较大; 此外, 近年来由于产业结构的调整, 土地利用呈现出高强度开发的特点。土壤侵蚀十分严重, 由此不仅造成土壤肥力的下降, 也使该地区水体质量恶化。

据水利部太湖流域管理局统计, 2007 年太湖流域山丘区水土流失面积 1957.6 km^2 , 占流域总土地面积的 5.3%, 其中江苏省水土流失面积 1238.5 km^2 , 浙江省水土流失面积 629.6 km^2 , 安徽省水土流失面积 89.5 km^2 。水土流失以微度流失为主, 分布在太湖平原河网地区, 包括苏州、无锡、常州大部分地区。水土流失强度及流失面积较大地区分布在西南部丘陵地区, 包括宜兴市、溧阳市、金坛市、吴县市、丹阳市部分地区, 但所占面积比例较小。在流域水土流失面积中, 轻度侵蚀面积 1491.7 km^2 , 占流域侵蚀面积的 76.2%; 中度侵蚀面积 367.5 km^2 , 占 18.8%; 强烈侵蚀面积 76.0 km^2 , 占总流失面积的 3.9%, 极强烈及以上侵蚀面积 22.4 km^2 , 占流失面积的 1.1%。

1.1.4 流域系统观解决水生态问题的意义

流域在区域尺度上是一个大的系统, 由流域内的诸多类型生态系统构成。水是流域生态系统中最为活跃的因素, 流域生态系统管理的核心就是协调好陆地生态系统和水生生态系统之间的相互作用, 管理好水量、水质和径流过程。水体富营养化, 是氮磷物质在流域生态系统运动过程中, 发生空间错位阻滞和时间上的节律变态有关。氮磷物质作为陆地生态系统中不可或缺的营养物质, 由于不合理的人为活动, 氮磷流失到水体中, 而人们为了维持陆地生态系统的生产力不得不日益扩大氮磷的使用, 结果水体中聚集了大量氮磷造成了污染。通过保护流域自然植被, 调整农业生产方式, 有助于较大程度地将氮磷保留在陆地生态系统之中, 减缓水体的富营养化进程 (White & Bayley, 1999); 陆地地表覆盖的变化, 比如林地面积的减少以及硬化地表的增加, 都会导致水循环模式的变化, 减少降雨下渗而快速聚集洼处, 增大了洪灾威胁。

实践证明, 以流域为单元管理自然资源最为有效合理, 这一措施已被欧洲和北美各国政府环保、农业、林业、水土资源管理等机构普遍采纳。太湖流域水生态问题的解决, 需要在流域资源开发、灾害治理、环境保护、经济和社会发展规划制定和实施时, 尊重流域的本质特征, 坚持以流域系统观为指导, 重视流域生态系统过程及其功能, 科学调控生态系统的发展, 优化管理生态系统, 实现自然流域系统的协调一致和社会流域系统的和谐发展。

1.2 生态服务功能

虽然人类对生态系统服务功能的研究才刚刚起步,但是我们的祖先早已意识到了生态系统对人类社会发展的支持作用(Aldo Leopold, 1949)。20 世纪 40 年代以来生态系统概念与理论的提出和发展,促进了人们对生态系统结构和功能的认识 and 了解,为后来的生态系统服务研究奠定了科学基础。

1.2.1 生态服务功能概念

自从生态系统服务功能的概念提出以来,就一直有人不断尝试采用多种更加贴切提法来表述其内涵(Costanza et al., 1997; Daily, 1997; 孙刚等, 1999),但是至今仍旧未有公认的统一的表述方式(Wallace, 2007)。Daily (1997)认为,生态系统服务功能是指自然生态系统及其物种维持和满足人类生存、维持生物多样性和生产生态系统产品(比如海产品、牧草、木材、生物燃料、自然纤维等)的过程和能力;Costanza 等(1997)用生态系统产品(如食物)和服务(如消纳废物)表示人类从生态系统功能中直接或间接获得的效益;De Groot 等(2002)探讨了生态系统功能与生态系统产品和生态服务概念之间的关系,并将生态系统功能定义为自然过程及其组成部门提供产品和服务从而满足人类直接或间接需要的能力,当生态系统功能被赋予人类价值的内涵时便成为生态系统产品和服务;联合国千年生态系统评估(2003)综合了以上定义,认为生态系统服务功能是指人类从生态系统获取的效益。

在我国,“生态系统服务”根据国外表述方法的不同而有各种译名,比如有人译作“生态系统服务”(赵景柱等, 2000; 徐中民等, 2002),有人使用“生态系统服务功能”(欧阳志云等, 1999; 谢高地等, 2001),或者“生态服务功能”(石培礼等, 2002; 赵传燕等, 2002)。对于生态系统服务功能概念的理解,应当注意生态系统功能与生态系统服务之间的区别与联系。生态系统服务是建立在生态系统功能基础上的,是人类能够从中获益的生态系统功能;而生态系统功能是生态系统结构的外在表现,是生态系统所固有的本质属性,二者不可等同,但联系又十分密切。为了更加清晰表述生态系统服务相关概念,本书首先对生态系统服务、生态系统服务功能以及生态服务功能等概念进行区别。生态系统服务是指人类从生态系统获得的各种惠益(MA),包括生态系统产品和服务;生态系统服务功能是指单一生态系统类型所提供的生态服务,侧重生态功能而非生态系统产品;生态服务功能是指流域或区域生态系统(包括多个生态系统类型)所提供的生态服务,同样侧重生态功能而非直接的生态产品。

1.2.2 生态服务功能特征

1.2.2.1 空间异质性与范围有限性

由于气候、地形等自然条件的差异,生态系统类型多样,其生态服务功能在种类、数量和重要性上存在很大的空间差异性。生态服务功能是在一个特定的地理区域内形成的,尽管会在一定程度上向外辐射,惠及其他区域甚至全球,但是绝大部分的生态服务功能具有明显的地域性特征,只是在一定的地理区域内发挥作用。

1.2.2.2 整体有用性与用途多样性

生态系统服务不是单个或部分要素对人类社会有用,而是所有组成要素综合成生态系统之后才起作用(阎水玉和王祥荣,2002)。生态系统服务功能是建立在生态系统整体性基础上的,是其整体功能的发挥。一种服务功能的提高必然导致另一种服务功能的降低。同时,生态系统的服务功能的种类是多样的,同一生态系统可以表现出较多的服务种类。各种生态服务功能的大小存在差异,并不像市场上流通的商品其使用价值一般情况下是比较单一的。

1.2.2.3 持续有用性与动态性

生态系统具有自然演替过程,受到自然或人为干扰后会发生相应变化,而且随着社会经济的发展,人们对生态系统服务的认识与评价也会发生变化。尽管生态系统服务功能随着生态系统的自然演替而发生变化,但是一般来说,自然演替的过程比较缓慢,如果没有受到外部干扰,生态系统服务功能是可以长期存在和持续利用的。但是如果人类过度地或不合理地从生态系统中攫取某一类型的服务,就可能导致所有的生态系统服务减少甚至消失。

1.2.2.4 公共产品性与外部性

生态系统服务不能离开具体的生态系统而存在,也不能离开具体的区域环境而进行。尽管具体的生态系统属于某一所有者,但是它所产生的生态服务可以超过其所有者的控制范围;再者,生态系统服务的发挥是公共的,不具有排他性。因此,有效解决生态系统服务所有者的独立性与消费者的不确定性之间的矛盾是生态系统服务价值评估的关键。由于人类的行为对生态系统产生负面的外部效应,导致生态系统服务功能和价值受到损害,间接地对人类的社会经济系统产生不利影响,增加了社会成本。

1.2.3 生态服务功能分类

生态系统具有多种多样的服务功能,各种服务功能之间互相联系、互相作用,因此,生态服务功能分类是开展生态服务研究的一个重要内容。国内外对于生态系统服务的分类研究相当重视,目前已有多种分类方法。比如 De Groot (2002) 提出将生态系统服务分为调节功能、承载功能、生产功能和信息功能 4 类;Freeman (1993) 提出另一种四分法,即为经济系统输入原材料、维持生命系统、提供舒适性服务以及分解、转移和容纳经济活动的副产品;张象枢等(1998)将其划分为物质性资源功能、环境容量资源功能、舒适性资源功能和自维持资源功能 4 类;李金昌等(1999)提出两分法:物质功能和生态功能。此外,还有许多国内外专家学者对生态系统服务的分类进行了探索,其中以 Costanza (1997)、De Groot (2002) 以及 MA (2003) 的分类方案最具有代表性(表 1-1)。

虽然这些分类体系都较为全面地概括了生态系统所提供的生态产品或功能,为生态系统服务及其价值评估建立了框架,并有助于开展针对不同生态服务功能的专项研究。但是这些分类体系属于以生态系统为起点,依据生态系统的组分、结构以及生态过程所进行的生态属性分类。由于通常情况下一种生态组分或过程对应多种生态服务,或者一种生态服务对应多个生态组分或过程,因此划分起来相当复杂,而且容易造成某些生态服务的重复出现;同时这些分类体系未能与人类需求有效结合起来,尽管 MA 将生态服务与人类福利对应起来,有助于反映生态系统变化对人类福利的影响,但是并不利于反映不同社会经济

条件下人类需求的变化对生态系统的影响。虽然生态系统所能提供的产品或功能多种多样,但是人类对这些生态产品或功能的需求是具有选择性的。比如,在容易遭受洪水威胁或水资源缺乏地区,森林的水源涵养功能往往受到特别关注;而在大气环境高污染地区,森林的空气净化功能更加受到重视。因此,生态系统服务的有效存在与人类的实际需求有着紧密的联系。

表 1-1 生态系统服务分类方法

Costanza 等 17 项分类法	De Groot 4 类 23 项分类法	MA 4 类 20 项分类法
大气调节	调节功能	供给服务
气候调节	大气调节	粮食
干扰调节	气候调节	淡水
水调节	干扰控制	薪柴
水供应	水调节	纤维
防止侵蚀	土壤保持	生物化学物质
土壤形成	土壤形成	遗传资源
养分循环	养分调节	调节服务
废物处理	废物处理	气候调节
传粉	传粉	控制疾病
生物控制	生物控制	调节水资源
提供避难所	生境功能	净化水源
食物生产	生境地保存	支持服务
原材料	繁殖地保护	土壤形成
基因库	生产功能	养分循环
娱乐	食物	初级生产
文化	原材料	文化服务
	基因资源	精神与宗教
	医药品	消遣旅游
	装饰资源	美学
	信息功能	激励
	美学信息	教育
	消遣娱乐	地方感
	文化艺术	文化遗产
	精神历史	
	科学教育	

从人类需求的三个层次来看,生态系统所提供的生态服务应该包括丰富充足的物质产品、健康安全的生态环境和独特别致的景观文化。其中物质产品主要包括维持人们生活的粮食、果品、木材、薪柴、淡水等生活资料,以及作为生产原料的橡胶、纤维、树脂、颜料等生产资料;健康安全的生态环境包括健康舒适的大气环境(比如舒适的气候、清新的空气)、安全的水环境和丰富的水资源、肥沃的土地资源以及丰富多样的生物资源;而独特别致的景观文化是指生态系统能够作为人们的休闲消遣对象,或具备历史、宗教、地方感和激励作用的文化载体,以及作为教育、科研或产生灵感的知识源泉。

因此,基于人类需求的三个层次,张彪等(2010)将生态系统服务分为 3 类 12 项,即物质产品、生态安全维护功能和景观文化承载功能 3 类,其中物质产品是指生态系统利用大气、水等组分以及光合作用等生态过程,将太阳能转化为有机质(生物量),从而为人类生