

流域生态学研究内容的整体表述*

575-581

吴刚

(中国科学院生态环境研究中心系统生态开放研究室 北京 100080)

12 14

蔡庆华

(中国科学院水生生物研究所 武汉 430072)

摘要 流域,作为一个在自然地理方面有着频繁的物质、能量交换,普遍存在因果关系的特殊区域,其经济开发日益受到人们的重视。长江流域最大的特点是丰富的水资源。但水体常作为不透明的、异质的嵌块在景观地图上被描绘,而水体科学家不常借用景观生态学的工具和概念解释它们。因为淡水生态系统格局很难被看到(多一个水的介质、可视的格局也很短暂),而且淡水是陆地海洋的“生境岛屿”(空间上断裂、功能上隔离)。也由于水生态系统的脆弱性(易受岸上周边地区包括生命活动和自然过程的影响),仅仅研究水体本身是不够的。故从更高的层次研究水体,将视野从水体扩大到汇水区域(对静水水体而言),或流域(对流水水体而言),将其视为一个生态系统(即流域生态系统)进行研究,探讨水、陆之间的斑块镶嵌及能流、物流和信息流的关系,是现代生态学研究之必然趋势。流域生态学不同于景观生态学,是淡水生态学、系统生态学和景观生态学间的一个交叉学科,且在研究过程中尚需借鉴计算机科学和非线性科学的理论和方法。本文以长江流域为对象,探讨流域生态学理论与实践的几个问题,为长江流域资源、环境与社会经济可持续发展研究提供一种新的思路。

关键词: 流域生态学,长江,可持续发展,景观生态学,系统生态学。

EXPRESSION AS A WHOLE OF RESEARCH CONTENT
OF THE WATERSHED

Wu Gang

(Department of Systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences,
Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080, China)

Cai Qinghua

(Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430072, China)

Abstract Watershed is a special region which has frequent matter and energy exchange and universal causality in the respect of physical geography. People attach importance to its economic development increasingly. Different from else region, the maximum characteristics of watershed are abundant water resource. However water area has not been studied on the aids of tools and concepts of landscape ecology by scientists in this area instead been discripted as an unclear and inhabit pitchiness on landscape maps. It is not very well only

* 国家自然科学基金(39500116和39670145)及国家“九五”科技攻关专题(96-920-04-12)的部分内容。
收稿日期:1998-02-06,修改稿收到日期:1998-06-06。

to study water area itself, because the structure of freshwater ecosystem is difficult to be observed (for additional medium, water and short lasting visual structure), freshwater is a "habitant island" of land ocean (for space separation and function asolation) and water ecosystem is fragile (easy to be affected by environment around including life action and natural process). For this reason, it is necessary to study water area in a higher level, consider catchment (for lentic habitat) or watershed (for lotic habitat), and regard water area as an ecosystem (watershed ecosystem). To probe into the relationship of patchiness with energy flow, matter flow and information flow, and developing research of watershed ecology is a necessary tendency of modern ecology. Watershed ecology, not alike landscape ecology, is an intersect discipline of freshwater ecology, systems ecology and landscape ecology. Computer science and non-linear science should be used for reference in the process of studying on watershed ecology. Take the Yangtze River watershed as the object of study, the article studies several issues in theory and practice watershed ecology and put forward a new thought about resources, environment and development of society economy in the Yangtze River watershed.

Key words: watershed ecology, the Yangtze River, sustainable development, landscape ecology, system ecology.

大江大河流域,作为一种特殊的区域,以丰富的水资源哺育着人类,灌溉着农田,净化着环境,以干支流航运为联系纽带沟通着全流域,以广阔的水域养育了千万种水生生物,以蕴藏着的巨大水能为流域经济振兴提供强大的动力。二次世界大战后,流域开发日益受到人们的重视。许多国家和地区越来越把以流域为单元,建立和恢复森林生态系统或发展混农林业(或称混林农业)作为整治环境和发展经济的一个重要途径^[1]。如苏联伏尔加河、第聂伯河等流域,美国密西西比河、哥伦比亚河等流域,欧洲的莱茵河、南亚恒河等大流域的治理和开发表明,流域经济开发已成为当代经济发展的一股潮流^[2],并开始了建立流域生态学理论体系的研究^[3,4]。长江是我国第一大河,世界第三大河。发源于青藏高原唐古拉山主峰各拉丹东雪山西南侧,全长6300km,沿途有700余条一级支流汇入,流域面积180.85万km²,占全国国土面积的18.8%。流域大部分处于亚热带季风气候区,温暖湿润,多年平均降水量1100mm,多年平均径流量9793亿m³,占全国河川径流总量的36%左右。年入海泥沙量近5亿t,为黄河之45%。长江流域地貌类型多样,高原、山地、丘陵和盆地约占84.7%,平原约占11.3%,河流及湖泊等水体面积约占4%(长江中下游为2%)^[5,6]。长江流域自然资源丰富,对我国国民经济的发展具有特殊的意义和作用。长江流域的基本特征可概括为:水能资源丰富、生物多种多样、经济文化发达、自然灾害频繁。具体而言,长江流域水能蕴藏量在1万kw以上的支流有1090条,水能蕴藏量达2.68亿kw,可开发的水能资源1.97亿kw,年发电量1万亿kw·h;矿产资源丰富,各类矿种齐全,储藏量较大,在全国已列入矿产储量表的136种矿产资源中,该流域拥有109种,其中钒、钛、磷的储量占全国80%以上,铜、钨、锑、铋储量占全国50%,铁、铝、硫、石棉等占全国1/3以上;森林资源主要分布在上游金沙江、雅砻江、大渡河一带和中游的湘、鄂、赣、皖诸省的山丘区,森林总面积约为4.8亿hm²,林业用地面积约为1.3亿hm²,经济林6.9万hm²。人口有3.97亿(1991年资料),其中农业人口3.22亿。现有耕地0.236亿hm²,约占全国耕地总面积的1/4;粮食总产量1.58亿t,水稻产量占全国的70%,棉花产量占1/3、淡水鱼产量占60%以上,流域农业和工业总产值均占全国的40%左右;长江是一条雨洪河流,洪水基本上都由暴雨形成,暴雨集中在5~10月,约占全年雨量的70%~80%,除金沙江中上游和雅砻江、岷江上游基本无暴雨外,其余150万km²的广大地区均有暴雨出现,故该流域受洪水威胁的范围很广,在干流上游及支流的山区,有因暴雨引起的山洪及触发的滑坡和泥石流为害,干流上游及支流的中下游沿岸,有因江河洪

水上涨漫溢造成淹没两岸河谷阶地的洪水灾害,干流中下游及支流尾间冲积平原因江河洪水泛滥或堤防溃决造成的严重灾害,滨海河口地区除受暴雨洪水灾害外还受风暴潮的侵袭^[5]。

从水资源(包括4项主要内容:水质、水量、水能、水生生物)的角度来看,尽管长江自净能力较强,其水质受到的污染已越来越严重。在干流22个主要城市江段中,攀枝花、重庆、武汉、南京和上海的入江排污量占干流排污总量的80%左右,各江段近岸水域均存在长度不等、程度不同的岸边污染带,局部水域污染相当严重,其主要污染物为耗氧有机物、挥发酚、氰化物和油类等^[5]。长江水量巨大,多年平均入海水量为20条黄河,其水系河川众多,流域面积在1千 km² 以上的有437条,1万 km² 以上有49条,10万 km² 以上有雅砻江、岷江、嘉陵江和汉江四大支流,主要一级支流有53条,有26条流域面积超过1万 km²。长江支流主要集中在中游地段,如湖南有大小河流4710条,平均流量1807亿 m³,湖北省大小河流1193条,全长达35000km^[5~7]。

长江流域湖泊面积仅次于西藏湖群而居全国第2位,全国四大淡水湖均在本流域。长江两岸有湖泊4048个,面积达24172km²,绝大多数湖泊都位于中下游地区^[4]。此外,在长江水系上已建成各种大中小水库48548座,占全国已成水库总数的68%,其中大、中、小型分别为103、864和47581座,相应总库容分别为726、208和266亿 m³。长江流域的大型水库数,占全国大型水库的32%,总库容则为全国大型水库总库容2858亿 m³ 的25%。长江及其附属湖泊的水生生物极为丰富,不完全统计有浮游植物8门183属321种,浮游动物154属330多种,底栖动物220多种,水生植物47科123属214种,鱼类17目52科178属370种^[6],其他有经济价值的

表1 长江干流16江段浮游生物种类数

Table 1 Species of plankton in the Yangtze River

类群 Category	宜宾	泸州	重庆	万县	宜昌	沙市	城陵矶	汉口	九江	安庆	芜湖	南京	镇江	南通	上海	吴淞口
蓝藻 Cyanophyta	2	2	2	5	4	5	8	4	4	4	5	7	1	8	7	3
绿藻 Chlorophyta	5	10	9	29	19	15	12	8	7	7	10	8	5	8	6	8
硅藻 Bacillariophyta	14	13	24	32	32	39	15	16	20	13	17	13	10	13	13	8
甲藻 Phyrophyta	1	0	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	0	0	1
黄藻 Xanthophyta	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
裸藻 Euglenophyta	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
金藻 Chrysophyta	1	1	0	1	1	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
合计 Total	23	26	36	70	60	62	40	29	33	25	35	29	17	29	26	20
原生动物 Protozoa	2	2	6	11	12	13	7	8	7	4	7	5	3	1	2	2
轮虫 Rotifera	9	17	31	43	25	28	29	14	15	13	21	14	15	11	13	15
枝角类 Cladocera	10	8	8	8	2	6	6	7	8	8	9	6	6	3	1	5
桡足类 Copepoda	1	1	1	9	4	8	6	3	4	4	5	4	5	4	5	2
合计 Total	22	28	46	71	43	55	48	38	34	29	42	29	29	19	21	24

或珍稀濒危的水生(水陆两栖)动物有螺、蚌、虾、蟹、龟、鳖、大鲵、扬子鳄和白暨豚等。总之,长江流域具有多项功能(饮用、发电、灌溉、防洪、渔业等)的水体为其经济持续发展提供了极大的保证。

1 流域生态学的由来背景和研究内容

1.1 从淡水生态学到流域生态学

人类文明主要集中于淡水生境。世界的河流、湖泊、水库、溪流和湿地提供了大部分饮用、农业、卫生和工业用水,同时也是大量鱼类、两栖类、水生植物、无脊椎动物和微生物的栖息地。长期以来,湖沼学一直作为生态学思考和管理实践的领导者而十分自豪^[8],但现代生态学研究更为迫切地需要与数学、地学、计算机科学等之融合,景观生态学是较好的例子。然而景观生态学不易与淡水科学结合,因为水体常作为不透明的、异质的嵌块在景观地图上被描绘,并且水体科学家不常借用景观生态学的工具和概念解释它们。这是因为淡水生态系统格局很难被看到(多一个水的介质、可视的格局也很短暂),淡水是陆地海洋的“生境岛屿(habitat islands)”(空间上断裂、功能上隔离)。但通过区域湖沼学(regional limnology)和湖泊区域(lake districts)的研究,已做了某些尝试^[9]。另外,由于生态系统的开放性,就水而论水可能存在障碍,应从更高一个层次研究水体,将视野从水体扩大到汇水区域(对静水水体而言),或流域(对流水水体而言),开展流域生态学研究^[9]。

表2 我国主要河流的长度及其流域面积

Table 2 The area of watershed and length of main river in China

河流 River	干流长 Length (km)	流域面积 Area of watershed (万 km ²)	占国土总面积(%) Percentage of total area of territory	河流	干流长 (km)	流域面积 (万 km ²)	占国土总面积 (%)
长江 Yangtze River	6300	180.85	18.80	海河 Haihe River	1100	26.5	2.76
黄河 Yellow River	5464	75.2	7.83	淮河 Huaihe River	1000	27.0	2.81
松花江 Songhua River	1927	54.5	5.68	珠江 Zhujiang River	2210	45.4	4.73
辽河 Liaohe River	1390	21.9	2.28				

以往对生态系统的研究均自其属性开始,即研究生态系统的结构和功能以及生物生产力^[10]。现代生态学研究之基本单元是生态系统,如湖泊、河流生态系统,森林、草原生态系统等。与陆地或海洋生态系统相比较,淡水生态系统的脆弱性表现在易受岸上周边地区影响包括生命活动和自然过程^[5];因此,仅仅研究水体本身是不够的。另外,水体占国土总面积份额很低,以湖泊为例,我国湖泊有24880个,总面积83400km²,面积大于1km²的湖泊有2848个,总面积为80645km²^[11];而流域则大得多,如武汉东湖,水面32km²,汇水面积187km²,我国七大河流的流域总面积约占国土面积的44.89%(表5),故无论从理论研究或实际应用之角度来说,将流域视为一个大的生态系统,开展流域生态学研究都是十分必要的。

1.2 流域生态学的主要研究内容

流域生态学以流域为研究单元,应用现代数理理论^[12~14],研究流域内高地、沿岸带、水体间的信息、能量、物质变动规律。其近期目标应是从中、大尺度上对我国内陆水体(及水生生物)资源保护与合理利用决策提供依据,为社会经济可持续发展作贡献。其技术手段应包括:3S和计算机技术、景观生态学理论与假说、非线性科学的理论和方法等。有学者将生态系统中的几个互相联系的基本部分——数据采集与处理,信息分析、解释、建模与预测,专家系统与优化管理系统所组成的有机整体称为生态信息系统,将有关这一方面研究的学科定义为信息生态学,认为它是生态系统理论与系统生态学的新发展^[15],流域生态学作为淡水生态学、系统生态学和景观生态学间的一个交叉学科,亦应包容基本的信息生态学内容。

流域生态学不同于景观生态学,其与景观生态学的区别和联系在于:

- (1)流域有明确的地理学边界(是一个由分水线所包络的“封闭的”系统),景观则没有。
- (2)流域和景观都是由不同生态系统组成的异质性区域。
- (3)从字面上说景观主要针对陆地区域,而流域则包括水系及其周边的陆地。
- (4)流域和景观都是社会-经济-自然复合生态系统。
- (5)景观生态学是地理学和生态学的交叉学科,流域生态学则是淡水生态学与陆地生态学的结合。
- (6)景观生态学以景观为对象,研究其结构、功能和变化,即景观要素和生态客体(如动物、生物量、营养物)的空间格局、生态客体在景观要素之间的流动、镶嵌体随时间的变化;流域生态学则研究流域内不同景观(高地、沿岸带、水体)和不同生态系统间信息、能量、物质的变动规律。

流域生态学研究应包括如下主要内容:

- (1)流域形成的(古地理和古气候)历史背景及发展过程。
- (2)流域景观系统的结构(不同生态系统或要素间的空间关系,即与生态系统的大小、形状、数量、类型、构型相关的能量、物质和物种的分布),功能(空间要素间的相互作用,即生态系统组分间的能量、物质和物种的流)和变化(生态镶嵌体结构和功能随时间的变化)。
- (3)流域生物多样性测度,生态环境变化过程对流域景观格局(如水生、陆生及水陆交错带生物群落和物种)的影响与响应。
- (4)流域内主要干、支流的营养源与初级生产力,干、支流间的能量、物质循环关系及其规律,流水与静水水境之间营养源和能源的动力学研究以及江湖阻隔的生态效应。

其他诸如流域的生态学特征以及区域生态环境整治的生态工程,流域城市生态学、人类生态学和生态经济;流域水系的环境背景值及环境容量,污水治理与资源化生态工程系统研究;水体梯级开发的生态学后果与对策,自然灾害的评估与预警;流域工农业现状及生物资源的利用与保护,流域社会经济可持续发展对策等方面,亦应是流域生态学研究范畴。

开展流域生态系统研究,需要多学科、多专业的交叉渗透和联合攻关。以长江流域为例,数十年来,中国科学院有关研究所及部分科研院所一直在从事水域生态学和陆地生态学的调查研究,已在长江流域的资源、环境科学方面作出了许多重要贡献,也具有较雄厚的开展流域生态系统研究的科学技术储备^[4,16-17]。有关部门将在“九五”期间选择重点类型与区域进行生态系统多样性维持机制的研究,主要内容包括重要生态系统的优势种、关键种的保护生物学研究,主要视为类群间相互作用(食物网)与生态系统稳定性之间关系的研究以及生境片断化的成因及恢复的研究等^[18]。建议在选择重点类型和区域时,选定一个具有代表性的中等尺度的流域,组织若干与水陆生态学研究有关的研究单位共同协作,联合开展流域生态学研究,增强生态系统多样性研究的理论性与实用性。

就近期研究而言,淡水方面应通过调研和收集各方面数据和资料,建立并逐步完善中国水生生物及内陆水体数据库(DOBEIC),结合3S技术、非线性科学和现代计算机理论,尝试对水体内的过程和格局的特征进行非线性度量,从而进行尺度转换或尺度推绎(scaling),在其基础上与DOBEIC相结合,拓展到区域湖泊群,具体地,可以长江中下游水体为主要对象,研究湖泊与水系的分形特征与环境质量的关系、水草分布格局的非线性度量及与生物多样性的关系、人类活动对湖泊生态系统的影响与对策、应用SPOT卫星对淡水生态系统进行动态监测等^[9];陆地方面则应加强林-农-渔复合生态系统优化结构的技术及示范、陆-水交错带的生态过程、(水流域)降雨过程与流域内不同景观格局及物能动态的关系及其数学模型的研究等等。

2 流域生态学的应用实践

流域生态学的理论体系尽管尚不完善,但它来源于实践,并在实践中有诸多的应用(包括小流域治理、湿地研究、生物多样性研究与保护、南极研究、山区开发、矿山土地复垦等)。

2.1 长江中下游低丘滩地综合治理与开发

长江中下游流域地跨中、北亚热带季风湿润气候带,水热资源丰富,环境条件优越,是我国主要的经济发达地区之一,分布有近3亿人口。长江中下游的低丘、滩地,就其区域分布来看,绝大部分处于我国南方林

区-耕作区-水区(江、河、湖区)三者之间的两个结合部(或称过渡带、交错带),其自然、社会和经济条件故然有得天独厚之方面,亦存在诸多制约因素,如因掠夺式经营致使土地贫瘠,水土流失严重;经营粗放,效益低下,甚至出现撂荒、半撂荒现象;局部地带环境恶劣,特别是血吸虫病重点疫区^[1]。“八五”期间,安徽农业大学承担了国家计委攻关项目“长江中下游低丘滩地综合治理与开发”,通过布设在沿江流域的低丘岗地和不同滩地类型的32个试验点,着眼于整个大系统,建立了以林为主,林、农、牧、副、渔及加工业等有机结合的生态大林业的开发体系,在充分利用自然资源的同时,注重了对生态环境的治理与改善,并创造性地将该区域大面积的3滩地(江滩、洲滩、湖滩)的治理与开发同灭螺防病联系起来,提出了灭螺防病林作为一个新林种的新概念,并建立一套较为完整的理论和实践体系。以安徽安庆市怀宁红星乡外滩为例,新的农林复合系统,使活螺密度下降了88%,已查不到阳性钉螺,人群血吸虫病感染率下降了82.9%。5a中,在长江中下游滩地共获得经济效益14.78亿元,生态效益30.487亿元,社会效益15.068亿元,复合效益十分可观^[1]。

2.2 江西山江湖工程

江西山江湖区,有我国最大的淡水湖——鄱阳湖及流入该湖的赣、抚、新、饶、修5河及其流域所组成,面积1622万 hm^2 ,占江西省国土面积的97.2%。由于历史原因以及人为的盲目开发,该地区生态环境严重恶化,水土大量流失,泥沙淤塞河道,湖泊功能下降,洪涝灾害屡治不绝。经过多年大规模的科学考察和宏观战略研究,人们发现,山江湖区存在的问题不是孤立的,要从根本上改变这一地区严峻的生态形势和落后面貌,单独治山、治水、治湖已是治不胜治,必须将山、江、湖作为一个大的生态系统,进行全方位的综合开发和治理。10年来,在山江湖区建立了红壤开发、沙化土改造、水土流失控制等九大类20个试验示范基地,并辐射出100多个推广点,成功地建立了112个大型农业综合开发基地和2个流域治理样板。以地处吉泰盆地的干烟洲试验区为例,该试验区原是一个少林、缺水、土地荒芜、经济落后的红壤丘陵区,1983年经科学考察和论证,制定了该区经济与生态协调发展的土地利用规划,对全洲9条沟、81个丘实行小流域治理,通过12a的开发治理发生了巨大变化,土地利用由治理前的10.9%增至98%,人均纯收入,增长了14倍,森林覆盖率由0.4%增至70%,水土流失得到了控制,如今林茂粮丰、瓜果飘香,其社会、经济、生态效益十分显著^[12]。

1.3 三峡库区的复合农业生态系统

三峡库区系指三斗坪三峡大坝建成后,水库蓄水,在坝址至水库回水末端这一段距离内,长江干流及其两侧集水区的整个地区,即长江两测分水岭所夹持的这一区段内的长江流域(但如乌江这样的大支流除外)。三峡大坝坝高185m,正常蓄水位为175m,水库的回水末端在重庆和巴县之间,长江干流在库区内长达570km。位于我国亚热带地区的三峡库区,植物资源丰富、物质起源古老、组成成分复杂,在我国植物区系中占有重要地位^[20]。中国科学院植物研究所在三峡库区的调查研究表明,三峡库区的森林面积占库区总面积的14.95%,灌丛占13.43%,草地占16.25%,农田占38.19%(其中旱地24.76%,水田14.43%),其他为水面、城镇、道路等。这种组合,旱地面积超过库区总面积的1/3,对于一个山区来说,超强度的垦殖系数,已超出了库区生态环境的承受能力。他们认为,库区理想的土地利用结构是森林30%,灌丛12%,草地10%,农田30%,其他18%。同时,他们对库区旱地和水田的6种复合农业生态系统模式进行了设计与试验,以探讨合理利用土地资源、发展库区经济的可行性。以稻-稻-鱼(鸭)系统为例,比对照的稻-稻-麦系统不仅亩增纯效益60元,还改善了土壤的理化性质,提高了土壤生产力^[20]。

致谢 文中的部分观点曾分别与中国科学院水生生物研究所刘建康、陈宜瑜研究员,植物研究所陈灵芝研究员,动物研究所李典谟研究员,沈阳应用生态研究所王庆礼、代为民研究员,郝占庆副研究员,生态环境研究中心高林研究员,南京地理与湖泊研究所王苏民研究员、姜彤副研究员,武汉大学陈家宽教授,北京大学宗志祥教授,北京林业大学李俊清、王建中教授等进行过交流讨论,受益匪浅,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 1 彭镇华,江泽慧.长江中下游低丘滩地综合治理与开发研究.北京:中国林业出版社,1996.1~317

- 2 张恩平,白康斌,袁运良等.长江经济开发战略.武汉:华中理工大学出版社,1989.1~310
- 3 蔡庆华,吴刚,刘建康.流域生态学.水生生态系统多样性研究和保护的一个新途径.科技导报,1997,(5):24~26
- 4 马振波,官之梅.水生生物研究所所长江科研工作的回顾与设想.见:中国科学院武汉分院等编.长江流域资源、生态、环境与经济开发研究论文集.北京:科学出版社,1991.21~27
- 5 长江水利委员会.治江年鉴(1992).
- 6 长江水系渔业资源调查协作组.全国渔业资源调查和区划专集:长江水系渔业资源.北京:海洋出版社,1990.1~281
- 7 长江流域规划办公室.长江流域已建在建大型水库汇编.1982
- 8 Harris G P. Pattern, process and prediction in aquatic ecology—A limnological view of some general ecological problems. *Freshwater Biology*, 1994, 32: 143~160
- 9 Fisher S G. Pattern, process and scale in freshwater systems, some unifying thoughts. In: *Aquatic Ecology: scale, pattern and process* (ed. by Giller, P. S., et al.). Blackwell Science Ltd. 1994, 575~592
- 10 蒋有绪.生态系统研究的理论分析参考.生态学杂志,1987,6(1):63~66
- 11 中国科学院南京地理与湖泊研究所.中国湖泊概论.北京:科学出版社,1989.1~240
- 12 王如松等.现代生态学的热点问题研究.北京:中国科学技术出版社,1996.1~703
- 13 李博主编.现代生态学讲座.北京:科学出版社,1995.6~50
- 14 刘建国主编.当代生态学博论.北京:中国科学技术出版社,1992.15~45
- 15 张新时.现代生态学的几个热点.见:中国科学院生物科学与技术局等编.未来十年的生物科学.上海:上海科学技术出版社,1991
- 16 陈宜瑜主编.中国湿地研究.长春:吉林科学技术出版社,1995.1~50
- 17 刘建康主编.东湖生态学研究(二).北京:科学出版社,1995.1~98
- 18 马克平等.生态系统多样性:概念、研究内容与进展.见:中国科学院生物多样性委员会等编.生物多样性研究进展.北京:中国科学技术出版社,1995.464~470
- 19 杨淳朴,吴国栋.世纪工程——山江湖开发治理.南昌:江西科学技术出版社,1996.1~327
- 20 陈伟烈,张喜群等.三峡库区的植物与复合农业生态系统.北京:科学出版社,1994.1~263