

流域生态学——生态学研究的一个新领域

尚宗波¹, 高 琼²

(1. 中国科学院植物研究所植被数量生态学开放实验室, 北京 100093; 2. 北京师范大学资源科学研究所, 北京, 100875)

摘要: 由于人类不合理开发和利用自然资源, 造成了流域生态环境的重大破坏, 为了合理开发流域资源和保护生态环境, 非常有必要开展流域生态学的研究。文中系统阐述了流域生态学的重要意义、主要研究内容和方法。流域生态学属于宏观生态学的研究领域, 主要借助于宏观生态学的研究方法。流域生态学与目前生态学最关注的“全球变化、生物多样性和可持续发展”3 个研究问题紧密结合在一起, 极具研究价值, 建议开展广泛深入的研究。

关键词: 流域; 流域生态学; 景观生态学; 信息生态学; 生物多样性; 可持续发展

Watershed ecology —— A new research area of ecology

SHANG Zong-Bo¹, GAO Qiong² (1. *Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093; 2. Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: As human's unrational use of resource and environment destroys the watershed ecology and environment severely, it's very important and necessary to begin a wide research on watershed ecology, to solve the problems such as sustainable utilizing the resource and protecting the ecology and environment of watershed. The significance, major research subjects and some important methods of watershed ecology were given here. Being part of the macroscopic ecology research area, many macroscopic ecology methods should be used in the watershed ecology research. watershed ecology research is of great value, as it is deeply related with today's three most important ecological research subjects, "global change, biodiversity and sustainable development". It's the time to start a wide and thorough research now.

Key words: watershed ecology; landscape ecology; informational ecology; biodiversity; sustainable development

文章编号: 1000-0933(2001)03-0468-06 中图分类号: Q15 文献标识码: A

流域(Watershed)是指一条河流(或水系)的集水区域, 河流(或水系)由这个集水区域上获得水量补给。流域生态学(Watershed ecology)^[1~8]是指以流域为研究对象, 运用现代生态学和相关学科的理论和方法, 研究流域内各系统的结构与功能, 以及系统之间的相互影响和作用的一个生态学研究的新领域。从尺度上讲, 流域生态学属于宏观生态学(Macroscopic ecology)的研究领域。

由于人类对全球生态环境的破坏和对资源的过度开发和利用^[9, 10], 使得全球气候变化、臭氧层的破裂和生物多样性的锐减, 以及耕地减少, 森林覆盖率减少, 土地退化, 水土流失和荒漠化, 人口危机、能源危机和粮食危机等成为国际上关注的焦点。为了解决人类赖以生存的地球可持续发展(Sustainable development)这个重大课题, 就需要生态学更多的与其它学科相结合, 运用更加宏观的研究方法和更加先进的研

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(No. 39899370), 国家自然科学基金(No. 39770133), 国家自然科学基金杰出青年基金(No. 39725006)和中国科学院资源与生态环境重大项目(B: KZ951-B1-108)资助

收稿日期: 1999-03-27; 修订日期: 1999-08-10

作者简介: 尚宗波(1973~), 男, 山东省邹平县人, 博士。主要从事生态学模型、全球变化、生物地球化学循环模型及数字地球模型研究工作。

系统乃至景观生态、区域生态和全球生态的知识,同时紧密结合地理学、水文学、社会学、经济学等多学科的相关知识而产生的新的研究领域。

1 流域生态学研究的重要意义

我国地域辽阔,拥有众多的内陆水域,河网密布。众多的河流、湖泊给人们提供了主要的淡水来源,河流冲积而成的冲积平原是中华民族文明的重要发源地,同时也是我国大部分工业、农业基地和能源基地所在地及重要城市和人口的聚集地。但是人类不合理的开发和利用,也对流域内生态环境造成了严重的危害。

1.1 水土流失

水土流失是环境退化最主要的表现形式之一,直接制约着国民经济的持续发展。我国水土流失问题非常严重^[11~14],至 1992 年,全国土壤侵蚀面积合计达 $492.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全国国土面积的 51.29%;年流失土壤总量约达 $70 \times 10^9 \text{ t}$,不仅造成生态环境的严重退化,而且带来国民经济的巨大损失。现在全国每年因水土流失损失的耕地面积约 13.33 万 hm^2 ,给工农业建设造成的直接损失约 1000 亿元。

1.2 森林覆盖率严重降低

中国现在森林覆盖率仅^[15]13.92%,比世界森林平均覆盖率 23% 低近一半;现有森林面积 $1.34 \times 10^9 \text{ hm}^2$,仅占世界森林面积的 4%,人均森林面积 0.12 hm^2 ,只相当于世界人均森林面积的 12%。流域的森林也遭受到砍伐和破坏,以长江流域为例^[16],50 年代库区沿江各县森林覆盖率仍在 20% 以上,而目前除鄂西 3 县(巴东、兴山、秭归)外,其余各县森林覆盖率仅有 7.5%~13.6%,库区水土流失面积占土地总面积的 58.2%。

1.3 自然灾害频繁发生

由于人类盲目开发利用自然资源,导致旱灾和涝灾频繁发生。1998 年的长江流域、松花江和嫩江流域的发生特大洪灾,截至 8 月 22 日,直接经济^[17]损失约达 1 666.6 亿元;据估计,1998 年洪灾造成的损失约 2500 亿元,洪灾可能拖累全国国民生产总值(GDP)负增长 1 个百分点。

1.4 水体污染严重,水质恶化

随着国民经济建设的迅速发展以及人口的增长,城市扩大,工业废水与城市生活污水日益增多,这些废污水 80% 以上未经处理便直接排入江河湖海里去,从而使环境污染与水质恶化问题相当突出。据统计^[19]全国各种废污水的排放量 1985 年为 $341.5 \times 10^9 \text{ t}$,预测到 2000 年,我国废污水排放量可能增加到 $960 \sim 1000 \times 10^9 \text{ t}$ 。

1.5 流域生态学研究的意义

如何减轻人类对流域生态环境的破坏和合理开发流域资源和保护生态环境给生态学家提出了一个严峻的课题,而流域这个相对较为封闭的系统又提供了一个非常好的研究领域;流域生态学的研究对于生态学理论和应用的发展都是非常有利的,同时也是全球可持续发展必须认真面对的难点问题。

2 流域生态学研究的主要内容

2.1 流域的水土保持(Soil and water conservation in watershed)

从流域生态系统的角度进行土壤、水、生物等自然资源的管理,是目前北美水土保持学研究的主攻方向^[20,21]。主要研究领域包括流域生态系统的结构组成及其健康状况评价、流域生态系统的功能及其作用机理研究与建模、流域水资源管理的社会、经济等因子对持续土地利用的影响和水土保持实践及新方法新技术的应用等。

2.2 水体污染和水质改良的研究

水体污染^[22]一直是环境保护的重要问题。环境质量的生物监测与评价,水体污染物的毒性和毒理的研究、污水净化的研究、湖泊富营养化的研究等是污染生态学研究的重要课题。而从流域角度综合考虑城市生态系统内污水数据和处理,以及整个流域的治理同样具有重要意义。

2.3 重大水利工程对流域生态系统影响的研究

重大水利工程,如长江三峡水利枢纽工程,对流域生态环境,流域内的生物多样性会造成重大的影响,同时会影响到区域乃至全球环境的变化。其影响程度和影响机制是什么,都需要进行系统研究。

2.4 流域生态系统生物多样性及保护对策的研究

生物多样性(Biodiversity)^[23,24]是生物及其与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和。它包括数以千万计的动物、植物、微生物和它们所拥有的基因以及它们与生存环境形成的复杂的生态系统。流域由于其特殊的生态环境,生物多样性非常高^[25]。由于人类活动和全球变化的影响,流域内的生物多样性正遭受严重的丧失,急需开展流域生态系统生物多样性的研究工作。作者认为,应着重从下几方面的开展研究工作:(1)生物多样性的调查、编目及信息系统的建立;(2)人类活动,特别是大的水利工程对流域内生物多样性的影响的研究;(3)濒临物种的保护对策研究;(4)生物多样性的长期动态监测;(5)生物多样性保护技术与对策的研究。

2.5 水陆交错带的研究

流域通常由水生态系统和陆地生态系统构成,属于典型的水陆交错带。水陆交错带的特点^[26~29]是水生态系统与陆地生态系统之间的作用比较强烈,产生了复杂的景观异质性和边缘效应,是生物分布和活动频繁的地区,生物多样性比相邻地带要高的多,对生态系统间的物流、能流、信息流和生物流起到廊道(Corridor)、过滤器(Filter)和屏障(Barrier)的作用。同时,水陆交错带对于全球气候变化又是反应较敏感的地区,也是生物多样性容易丧失的地区。研究流域作为水陆交错带,其结构、功能和变化动态,以及对全球变化的响应,都是很有价值的。

2.6 流域生态系统与全球变化相互影响和作用规律的研究

全球变化^[30]是一个意义非常广的概念,包括全球气候变化(CO₂浓度的上升,温度升高,降水的变化等),土地利用和覆盖的变化,大气成分的变化,生物地球循环的变化,全球人口的增长,生物多样性的丧失等等。全球变化必然会引起流域生态系统内环境的相应变化,如降水的变化,蒸发的变化,土地利用的变化,从而影响到流域的结构与功能的变化。流域生态系统结构与功能的变化又会对全球的变化产生影响,这是一个非常复杂的过程,其影响机制是什么,影响作用有多大,如何防止和减轻不利的影 响,都值得研究。

2.7 流域生态系统的可持续发展与开发利用研究

可持续发展的定义有很多种,简单地说是“可持续发展是一种既满足当代人的需求又不对后代人满足其需求能力构成危害的发展(世界环境与发展委员会,1987)”^[31]。如何实现流域生态资源可持续开发原则,既能充分发挥流域生态系统的重要功能来促进社会和经济的发展,又能保护好环境,合理有效地利用流域自然资源,同时将流域发生的自然灾害(如洪涝灾害和旱灾)减到最低,并尽量杜绝人为引起的自然灾害发生,是一个关系到国民经济能否持续发展的重要课题。

3 流域生态系统研究的重要方法和手段

3.1 生态系统的方法

生态学家一直很重视水生态系统的研究,自 Forel 在 1892 年提出湖沼学(Limnology)^[32,33]以来,对湖沼学的研究(特别是 Lindeman^[34]的研究)极大地促进了生态学的发展。淡水生态系统的研究^[9]在近 20 多年来主要是围绕水域生产力和水体富营养化两个主题。现代生态学的发展要求从更大尺度上进行研究,淡水生态系统不能仅仅看成“封闭的系统”,而是流域生态系统的一个重要组成部分。生态系统学是流域生态学研究的重要方法,研究中应该更加重视流域内的水生态系统、森林生态系统、草地生态系统、农业生态系统、城市生态系统的结构与功能,以及这些生态系统之间的相互影响和作用方面。

3.2 退化生态学和恢复生态学的方法

退化生态系统^[36]实际上是生态系统的一种演替类型(Succession types),在大多数情况下,它是指由于人类的影响而导致生态系统的偏途演替(Deflected succession)或逆向演替。恢复生态学(Restoration ecology)^[37,38]是**两方数据**生态系统恢复的重要手段。如何恢复已经遭受破坏的流域内森林、草原等生态系统,保护生态平衡,防止水土流失,对实际工作更有指导意义。

3.3 景观生态学方法

“景观生态学(Landscape ecology)”^[39]是德国学者 C. Troll 于 1939 年首先提出的。早期欧洲传统的景观生态学^[41]主要是区域地理学和植被科学的综合。土地利用规划和决策一直是景观生态学的重要研究内容。80 年代以后^[39~46],由于美国学派的加入,景观生态学进入一个新的蓬勃发展阶段,更加侧重于生态学领域的研究。作者认为,景观生态学是地理学与生态学相结合产生的,属于现代生态学的一个年轻分支,它是以整个景观(Landscape)为研究对象,研究内容主要包括:(1)景观的结构,如景观空间异质性和空间格局等;(2)景观的功能,如景观物流、能流、信息流和物种流等;(3)景观的动态,指景观结构和功能随时间变化。研究目的是合理利用自然资源和保护生态环境。从尺度上讲,景观生态学属于宏观尺度的研究领域,介于生态系统和区域之间。流域生态系统是以流域的地理特征划分的,是宏观生态学(Macroscopic ecology)研究的一个新领域,研究中需要大量借助于宏观生态学(景观生态学、区域生态学和全球生态学)的研究方法。

3.4 遥感技术、地理信息系统及信息生态学在流域生态学中的应用

遥感技术^[48]主要是通过航空或航天设备,记录地物光谱特征的技术。地理信息系统(Geographic information systems, GIS)^[49]是借助于计算机存储、分析和展示数字化的地理信息的计算机硬件和软件系统。遥感^[50]是宏观生态学研究收集数据信息的极为重要的手段,而地理信息系统^[51]则为大系统分析所需数据的存储和分析,提供必要的帮助。由于生态系统不同于地理系统,因此地理信息系统在生态学研究中有其局限性,最好的解决方式^[53]就是信息生态学(Information ecology)和生态信息系统(Ecological information system, EIS)的研究。

信息生态学^[54]是运用现代迅猛发展的信息科学理论,充分使用各种信息(包括遥感信息),运用多种数量分析方法和模型方法,利用飞速发展的计算机技术,来进行宏观生态学领域研究的科学。信息生态学为生态学研究开辟了巨大的研究领域和最新的研究手段。信息生态学研究内容主要包括:(1)信息分析和处理技术的研究;(2)数量分析方法的研究;(3)信息生态学模型的研究;(4)生态信息系统的研究。信息生态学将在景观、区域、全球尺度的生态系统动态预测和调控方面发挥巨大作用。

3.5 生态学模型的方法

生态学模型方法是生态学研究的重要方法,随着生态学由定性化向量化的发展,必将在生态学研究发挥更大的优势和作用。生态学模型^[53]可以分为生理生态学模型和生态系统模型两种。生理生态学模型重在探讨有机体的生理学机制与外在环境的关系。生态系统模型有匀质斑块系统模型和空间异质系统(景观、区域)模型两种。匀质斑块系统模型由于忽略了空间异质性因素的影响,适于在空间范围较小时应用;全球变化和生物多样性的研究中都大量使用到匀质斑块系统模型。空间异质系统模型考虑了空间耦合作用,可以在较大范围使用。由于宏观生态学的研究的需要,空间仿真模型迅速发展起来。空间生态系统的仿真模型正成为目前计算机模型的前沿和热点。

3.6 社会-经济-自然复合生态系统的方法

我国的流域经过几千年的开发和利用,已经成为人口的聚集地和农业、工业发展基地,流域系统已经发展成为一个复杂的自然-社会复合系统。马世骏^[56]在 1984 年提出的社会-经济-自然复合生态系统的研究方法,非常适用于流域系统的研究。在流域内的人工生态系统和半自然生态系统,如城市生态系统和农业生态系统的研究中,应该重视人类的巨大影响和作用。在流域生态系统的开发和利用方面,在考虑环境效益同时,也应该重视经济效益和社会效益。

4 结语

美国^[9,10,31]在《可持续的生物圈建议书》(SBI)提出了“全球变化、生物多样性和可持续发展”3 个目前世界生态学最关注的研究问题,而流域生态学的研究与这 3 个重要研究问题紧密结合在一起,因此流域生态学极具研究价值。

黄河^{黄河数据}流量不断增加,长江也有变为第二条“黄河”的可能;自 1972 年以来黄河的频繁断流^[57]已多次向人们发出警告;而 1998 年的长江流域、松花江和嫩江流域的特大洪水再一次敲响警钟。流域生态

系统直接关系到社会、经济的发展和人民生命、财产的安全,应该引起生态学者的足够重视,建议开展大范围的深入研究工作。

参考文献

- [1] 吴刚,蔡庆华.流域生态学研究内容的整体表述.生态学报,1998,18(6):575~581.
- [2] 邓红兵,王庆礼,蔡庆华.流域生态学新科学、新思想、新途径.应用生态学报,1998,9(4):443~449.
- [3] 国家自然科学基金委员会.自然科学学科发展战略调研报告——生态学.北京:科学出版社,1997.
- [4] 蔡庆华,吴刚,刘建康.流域生态学:水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.
- [5] Vannote R L, Minshall G W, et al. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 1980, 37:130~137.
- [6] Naiman R J ed. *Watershed Management: Balancing Sustainability and Environmental Change*. New York, USA.: Springer-Verlag 1992.
- [7] 流域保护方法:生态系统保护的一种框架.资源生态环境网络研究动态,1997,8(4):23~25.
- [8] Johnson R R and Lowe C H. On the development of riparian ecology. In: R. R. Johnson, et al. Tech. coors., *Riparian Ecosystems and Their Management: Reconciling conflicting Uses*. USDA Forest Service General Technical Report RM-120, 1985,112~116.
- [9] 国家自然科学基金委员会.生态学——自然科学学科发展战略调研报告.北京:科学出版社,1997.
- [10] Development of Ecological Perspectives for the 21st Century. *Abstracts of V International Congress of Ecology*. Japan: Yokohama,1990.
- [11] 陈家琦.全球变化和水资源的可持续发展.水科学进展,1996,7(3):187~192.
- [12] IIED(The International Institute for Environment and Development and World Resources Institute). *World Resources 1987, Basic Books*. New York: Inc,1987.
- [13] 谢家泽,陈志恺.中国水资源.地理学报,1990,45(2):210~219.
- [14] 我国水土流失日趋严重,水土保持对策有良方——水土流失现状与对策专题报告会.地理研究,1994,13(3):117.
- [15] 王兵,肖文发,刘世荣.中国森林生态环境监测现状及环境质量.世界林业研究,1996,5:52~59.
- [16] 叶德昌.略论三峡库区生态环境监测的几个问题.自然资源,1995,17(3):21~25.
- [17] 《水科学进展》、《水利水电科技进展》、《河海大学学报》编辑部.'98洪水专家纵横谈.水科学进展,1998,9(3):303~311.
- [18] 吕宪国,张为中.'98嫩江、松花江洪水与流域综合管理.地理科学,1999,19(1):10~14.
- [19] 唐以剑,章申.我国发展中的水环境问题与对策.地理学报,1989,44(3):302~313.
- [20] 贺缠生,傅伯杰.美国水资源政策演变及启示.资源科学,1998,20(1):71~77.
- [21] 张桃林.流域和生态系统方法与水土保持研究——全球生态系统管理挑战国际会议追记.资源生态环境网络研究动态,1997,8(3):42~43.
- [22] 刘厚田.污染生态学发展战略研究.见:马世骏主编.中国生态学发展战略研究(第一集).北京:中国经济出版社,1991.347~359.
- [23] 马克平,钱迎倩,王晨.生物多样性研究的现状与发展趋势.见:钱迎倩,马克平主编.生物多样性研究专著1.生物多样性研究的原理与方法.北京:中国科学技术出版社,1994.1~12.
- [24] 陈灵芝.生物多样性保护现状及其对策.见:钱迎倩,马克平主编.生物多样性研究专著1.生物多样性研究的原理与方法.北京:中国科学技术出版社,1994.13~35.
- [25] Naiman R J, Decamps H and Pollock M. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecology*, 1993,3:309~212.
- [26] Linkens G E and Bormann F H. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. *BioScience*, 1974,24:447~456.
- [27] Swanson F J, Gregory S V, Shdell J R, et al. Land-water interactions: the riparian zone. In: R. J. Edmonds, ed. *Aquatic Terrestrial Forest Ecosystems in the Western United States*. US/IBP Synthesis Series No. 14. Stroudsburg, Pennsylvania, USA: Hutchinson Ross Publishing, 1982. 267~291.

- [28] Gregory S V, Swanson F J, Mckee W A, *et al.* An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*, 1991, **41**: 540~551.
- [29] 高洪文. 生态交错带(Ecotone)理论研究进展. 生态学杂志, 1994, **13**(1): 32~38.
- [30] IGBP. Global change and terrestrial ecosystem, the operational plan. *IGBP global change report*. No. 21. 1992.
- [31] 陈昌笃, 王祖望. 持续发展与生态学. 全国第一届持续发展与生态学学术讨论会论文集汇编. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 3~19, 105~109.
- [32] Weich P S. *Limnology*. New York: McGraw-Hill, 1935.
- [33] Wetzel R G. *Limnology* (2nd). Co. Philadelphia: Saunders Collage Publ, 1983.
- [34] Lindeman R L. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology*, 1942, **23**: 399~418.
- [35] Luchenco, *et al.* The Sustainable Biosphere Initiative: An ecological research agenda. A report from the Ecological Society of America. *Ecology*, 1991, **72**(2): 371~412.
- [36] 陈灵芝, 陈伟烈. 中国退化生态系统研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [37] Jordan W R, Gilpin III M E and Aber J D, eds. *Restoration Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- [38] Bradshaw A D. The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 1983, **20**: 1~17.
- [39] Forman R T T and Wildmann B. *Landscape ecology*. New York: John Wiley, 1986.
- [40] Frank B G. Introducing landscape ecology. *Landscape Ecology*, 1987, **1**(1): 1~3.
- [41] Naveh Z and Lieberman A S. *Landscape Ecology; Theory and Application*. New York, USA: Springer-Verlag, 1984.
- [42] Edwards C A, *et al.* *Large-scale Ecology and Conservation Biology*, Blackwell Scientific Publication, 1994.
- [43] 陈昌笃. 景观生态学的理论发展和实际应用. 见: 马世骏主编. 中国生态学发展战略研究(第一集). 北京: 中国经济出版社, 1991. 232~250.
- [44] 傅伯杰. 地理学的新领域——景观生态学. 生态学杂志, 1983, **2**(4): 60, 7.
- [45] 肖笃宁. 当代景观生态学的进展和展望. 地理科学, 1997, **17**(4): 356~363.
- [46] 肖笃宁. 试论景观生态学的理论基础与方法论特点. 见: 肖笃宁. 景观生态学——理论方法及应用. 北京: 中国林业出版社, 1991. 13~25.
- [47] Neison R P, *et al.* *Sensitivity of Ecological Landscapes and Regions to Global Climate Change*. Washington D. C. : USEPA, 1989.
- [48] Campbell, James B. *Introduction to Remote Sensing*. New York: The Guilford Press, 1987.
- [49] Tomlinson R F. Current and potential uses of geographical information systems, the North American experience. *International Journal of Geographical Information Systems*, **1**(3): 203~218.
- [50] 关蔚禾, 王璐. 遥感技术和地理信息系统及其在自然资源研究中的应用. 见: 刘建国主编. 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 234~248.
- [51] Hall Forrest G, Donald E, Strebel and piers J Sellers. Linking knowledge among spatial and temporal scales: vegetation, atmosphere, climate and remote sensing. *Landscape Ecology*, 1988, **2**(1): 3~22.
- [52] Haslett J R. Geographic information systems: a new approach to habitat definition and the study of distributions. *Trends of Ecological Evolution*, 1990, **5**(7): 214~218.
- [53] 张新时, 高琼. 信息生态学研究(第一集). 北京: 科学出版社, 1997.
- [54] 张新时. 90年代生态学的新分支——信息生态学. 生命科学信息, 1990, **2**(3).
- [55] 高琼. 信息生态学的前景展望. 中外科技政策管理, 1994, **7**: 89~94.
- [56] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统理论. 生态学报, 1984, **4**(1): 1~9.
- [57] 吴凯, 谢贤群, 刘恩民. 黄河断流概况、变化规律及其预测. 地理研究, 1998, **17**(2): 125~129.