

生态水文学的学科研究动态及在中国的发展方向*

高 富^{1, 2, 3}

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223 2. 中国科学院昆明植物研究所, 云南 昆明 650204

3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 在人类社会可持续发展面临淡水资源短缺、水质恶化和生物多样性锐减等的重大环境危机, 为有效地克服这些危机的背景下, 产生了新兴的生态学与水文学交叉学科生态水文学。生态水文学先后经历了学科孕育、概念提出和理论探寻的 3 个发展阶段, 其学科的研究成果在可持续发展、退化生态环境的恢复与重建和生物多样性保护等领域内具有广泛的应用前景, 在此前提下, 提出了生态水文学研究在中国的发展方向。

关键词: 生态水文学产生; 学科研究动态; 中国发展方向

中图分类号: Q 149 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-8246 (2009) 04-0104-05

The Trends of Eco-hydrology and Its Study in China

GAO Fu^{1, 2, 3}

(1. Tropical Botanic Garden at Xishuangbanna, Chinese Academy of Science (CAS), Kunming 650223 Yunnan, China

2. Kunming Institute of Botany, CAS, Kunming 650204 Yunnan, China 3. School of Graduate Studies, CAS, Beijing 100039 China)

Abstract The current crisis in fresh water shortage, water degeneration and the decrease of biological diversity which hampers the sustainable development of the society of human being arises a new discipline of Eco-hydrology. Eco-hydrology is a cross discipline of ecology and hydrology. Its study has a widespread application in environmental sustainability, restoration and rehabilitation of degraded land and biological conservation. I also propose the trend of study in this field in China.

Key words Eco-hydrology, trends in study, trends in China

随着科学技术的进步, 人们认识自然和改造自然的能力在不断地增强。面对淡水资源短缺、水质恶化和生物多样性锐减等的全球性环境危机, 人们意识到需要以专门学科为基础, 综合其他相关学科, 建立跨学科的研究队伍, 通过融合各有关学科的理论和研究方法, 以求解决全球性的环境危机。生态水文学 (Eco-hydrology) 正是在上述背景下应运而生, 一方面是为应对水资源短缺、水质恶化和生物多样性减少等全球环境问题的挑战, 另外一个方面是为适应现代科学研究过程中实现跨学科 (Interdisciplinary) 集成、综合研究这一发展趋势

的需要。

生态水文学的概念首先是从水陆缓冲带的研究过程中产生的。Ingram 于 1987 年在研究苏格兰泥炭湿地生态过程中首次提出了 Eco-hydrology 的概念, 并具体描述了该泥炭地的生态水文过程。急剧膨胀的人类活动破坏了水资源的生态空间, 使水资源问题成为 21 世纪人类面临的重要资源问题之一, 为维护社会的稳定, 经济的健康发展, 人类必须寻求水资源可持续利用的途径, 由此促使生态学和水文学的交叉领域研究成为科学界的热点之一。1992 年在 Dublin 召开的国际水与环境大会上, 经过来

* 收稿日期: 2009-06-30

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2008BAD98B06)、国家自然科学基金项目 (30670395)、国家重点基础研究发展计划 (国家 973 项目) (2003CB415101) 和云南省自然科学基金重点项目 (2003C0002Z) 资助。

作者简介: 高 富 (1973-), 男, 河南人, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事生态水文学和民族植物学方面的研究。

自各相关领域的与会专家的认真讨论, 正式提出生态水文学这一学科概念。生态水文学在研究解决人类所面临的淡水资源短缺问题上所表现出的良好前景受到了国际社会的广泛关注。通过生态水文学的研究, 人类有望走出水资源问题的困境。为此, 联合国教科文组织 (UNESCO) 在所主持的国际水文计划第五阶段 (HP-V) 的执行过程中, 把生态水文学理论和研究方法的探索作为一项重要内容之一, 在 26 个国家和地区开展了 39 个探索性的项目活动 (Pilot project)。这些先期开展的项目分别从景观格局与营养负荷、水文格局的化学效应、生态流量等方面展开了大量的研究工作。

尽管众多的生态水文科研项目已经开展, 并把已经取得的生态水文学相关理论和研究成果应用于流域的综合管理并取得了良好的效果, 但是有关生态水文学这一新边缘性交叉学科完整、权威性的定义仍然存在争议, 对于该学科的定义及其研究出发点可谓仁者见仁、智者见智, 而存在许多的不同。

综合众多学者所阐述的生态水文学理论, 其较为一致的观点是认为生态水文学是揭示生态系统中的生态格局和生态过程水文学机制的科学; 该学科的主要研究任务是探讨生态系统中的植物对于水文过程的影响, 以及探寻水文过程对于植物生长和分布的作用。把植物与水分的关系作为学科研究的基础, 以土壤水分及植被蒸散作为其核心研究内容, 以生态过程和水文过程耦合机制的尺度效应作为该学科的关键点, 以水资源的可持续利用和维持生态系统健康可持续发展目标的实现为其学科研究的目标。最终为维持良好的生态环境和促进人与自然的和谐而服务。

1 生态水文学学科的发展与研究动态

虽然 Ingram 首次给出了生态水文学 (Ecology) 这一词汇, 但生态水文学以一个完整而独立的学科面貌出现, 而为科学界所公认是 20 世纪 90 年代, 即在 1992 年 Dublin 世界水与环境大会上正式提出以后才成为一门独立的学科。对这一新兴学科的直观理解就是涉及水文学和生态学两门科学问题的学科, 也有人理解为是生态学和文学两个学科的交叉, 或理解认为是一个学科对另外一个学科的影响, 如水文过程对生态系统的影响或生态过程对水文学过程的影响。结合生态学、水文学的

发展过程, 并参考人类在克服淡水资源危机中所寻求的最佳解决途径过程的认识历程, 而把生态水文学的发展初步分为 3 个不同的发展阶段。依此来论述各发展阶段的生态水文学的学科发展状况及其研究动态。

1.1 生态水文学的学科孕育阶段

此阶段的时间为 20 世纪 50 年代至 80 年代。此期间, 以气候变化为主要内容的全球变化、生物多样性丧失、资源枯竭和生态环境退化使人类陷入到自己导演的生态困境之中, 而严重威胁到人类社会的可持续发展。

这一阶段的主要特征是生态学、水文学独立发展, 形成各自相对完善、可靠的理论和研究方法体系, 并开始有融合两个学科特点的概念提出, 并得到初步发展, 这些概念为后来生态水文学的出现提供了理论依据。一些基本科学问题的研究为生态水文学新概念的提出及其模型的发展提供了基础。如 1957 年 Odum 发表了关于河源能量预算的基本问题, 为河流生态系统的模拟研究提供了理论依据; 生物演替 (Biological Succession) 概念和基于鱼类种群分布的生物发生带 (Biozonotonic Zone) 概念的提出使生物过程和水文过程建立了某种联系; 而到 20 世纪 70~80 年代, 明确提出的河流生态学及所开展的关键性理论研究, 则为生态水文学学科的产生奠定了扎实的基础。继后出现的河流连续体概念 (River Continuum Concept, RCC)、序列不连续体概念 (Serial Discontinuity Concept, SDC)、洪水脉动概念 (Flood Pulse Concept, FPL) 和河流生产力模型 (Riverine Productivity Model, RPM) 则进一步为生态水文学的产生创造了基础条件。这些概念提出之后, 一些学者在自己的工作中使用和发展了这些概念, 甚至对一些理论背景进行了很大的调整。如 Statzner 和 Higgler 在 1985 年对 RCC 的理论进行了相应的调整, 而 FPL 概念的出现正是 RCC 理论在 AMAZON 流域中应用的成果之一。

纵观本阶段的研究特点可以看出, 以河源能量平衡计算基本理论为出发点, 围绕天然河流系统中的淡水资源、生物资源的时空分布格局和内在联系, 提出了一系列新的概念, 旨在实现区域淡水资源和生物资源的可持续利用。但是这并非是一个自发的过程, 它需要建立在对区域水文学、生物机制和区域经济机制关系深刻理解的基础上, 为实现对此复杂关系的正确理解需要开展大尺度的、长期的

水文过程和生物动力过程的综合研究。

1.2 生态水文学概念的提出和学科初期的研究探索阶段

此阶段的时间范围为 20 世纪 90 年代。新概念的提出为生态水文学的产生和发展奠定了扎实的基础,从而明确提出了生态水文学的概念。生态水文学后,在其学科的发展初期,主要是对湿地生态系统的水文过程和生态过程进行研究。在继 Ingram 对苏格兰泥炭地的生态水文过程开展研究之后, Bragg 采用模拟的手段对苏格兰一个上升湿地抽取泥炭的生态水文过程进行了模拟; Hensel 和 Jansen 等分别对天然湿地和平坦湿地中的生态水文过程进行了探讨,并试图采用新的模型来模拟湿地生态系统中的生态过程和水文过程,以及二者的时空耦合机制。此段时期生态水文学研究的重要进展表现在对生态水文学参数的研究,以及试图建立以水资源定量评估为出发点的生态水文学学科研究的框架上。

本阶段生态水文学研究的进展及其所获成果集中体现在“欧洲试验与典型流域网络”(European Network of Experimental and Representative Basins, ERB)于 1996 年 9 月 2 日~26 日召开的以“小流域生态水文过程”为主题的项目会议上,并出版了《Ecohydrological Processes in Small Basins》一书。其研究内容主要集中在监测、模拟土-气相互作用、地表径流的产生和水流路径以及小流域尺度的水质和水文生物地球化学行为方面。虽然在本次会议过程中,与会代表对于生态水文学研究的区域效应和尺度效应作了一些探讨,但是对其一些重要问题仍然没有得到圆满解决。此间注意到气候变化对水文行为和物质运移的影响,而开始进入科学界的视野。

总的说来,在本阶段,学者们开始进入生态水文学研究的实际执行过程,开始对本学科的研究框架和关键参数展开了实质性的探讨和计算,并考虑采用模型的方法对生态水文学研究所涉及的生态过程和水文过程进行模拟。围绕生态水文学的界面过程之一:土壤-大气界面过程的相互作用、地表径流形成机制和地面径流路径以及所伴随的生态水文化学过程而开展了探索性研究。本阶段生态水文学研究的关键进展表现在对生态水文学研究的难点及尺度问题的重视,并且开始考虑气候变化所带来的潜在影响。

1.3 以实践为基础的生态水文学理论研究阶段

本阶段的时间界定为 20 世纪 90 年代中期以后。在其学科的产生和发展过程中,生态学和在水文学作为独立的学科,有各自独立的理论框架和为本门学科研究服务的概念和尺度体系。作为开展交叉学科的生态水文学的研究首先所面临的关键问题就是要解决好生态学和在水文学在水资源问题研究中的分歧,以及如何实现时空尺度上的匹配,以此实现二个传统学科的“无缝整合”,以便为将来生态水文学学科统一的概念的形成奠定一致的理论基础。

进入 20 世纪 90 年代中期以后,国际学术界的生态水文学研究进展情况以 UNESCO/HP-V2.3.2.4 (1995-2001) 执行的生态水文过程专项研究最具代表性。该专项研究在 26 个国家和地区展开,共计执行了 36 个相关研究项目。除 UNESCO-V 专项研究之外,其他的一些独立研究团队也在生态水文学研究方面进行了一些卓有成效的工作,如 Baird 和 Willy 的工作促成了生态水文学专著的出版; ERB 的第 7 次、第 8 次会议都强调生态水文学研究中过程的重要性;一些独立的研究者也在水文化学和生态水文特征、小流域分布参数的生态水文模型、垂直土柱中溶质运移的 Park 分析方案等的专项研究上开展了有效的工作。

综合本阶段的生态水文学学科研究特点,随着 39 个探索性研究项目的完成,从 1998 年 5 月在波兰罗兹 (Lodz) 大学召开的生态水文学专项研究成果交流会来看,参与研究的各位学者分别对湿地、水库、河流、森林等生态系统类型展开了具有针对性的研究工作,在这些已经开展的研究项目活动中,开始进行其尺度效应研究、探索由于水文过程的改变所产生的生态效应、景观中水文格局所产生的生态效应,并在相关的模型和制图上也进行了一些有益的探索性研究。总的说来,生态水文学的研究是侧重于水文过程的水文格局变化所产生的生态效应方面。

2 生态水文学研究在中国的发展方向

从提出生态水文学的学科概念起,到 1992 年 Dublin 国际水与环境大会正式列为一门独立的学科至今已经过 20 余年,而我国学者开始采用生态水文学概念,开展生态水文学相关的独立研究工作则是进入 21 世纪之后的事情。就目前可以查阅到的国

内大陆学者关于生态水文学研究介绍的第一篇中文文献是王根绪等在《地球科学进展》16卷第3期发表的《生态水文科学研究的现状与展望》几乎同时,严登华等、赵文智等和武强等也分别在相关期刊上发表了关于生态水文学研究的介绍文章。相比较而言,台湾学者开展生态水文学研究的起步比大陆学者早。与国际上对于生态水文学的争论一样,我国学者对此学科定义的争论一直持续到现在。在进行争论的同时,应用生态水文学的理论和研究方法对东北湿地生态系统、湖泊生态系统,以及西北干旱半干旱和寒冷地区开展了生态水文学的研究。此方面的研究工作正在积极进行,并取得了良好的成果。在研究内容上,我国不仅开展了流域为单元的生态水文学研究,而且对于生态水文过程的研究也进行得更加深入,不仅开展了植被动态与生态水文关系的研究,而且对于林地土壤大孔隙特征与森林生态水文关系的研究也在进行。就生态水文学研究的区域和生态系统类型而言,多集中在我国北方地区,而在我国热带、亚热带地区的森林和疏林生态系统中,开展生态水文学的研究还未见报道。

因此,笔者认为生态水文学研究在我国的发展方向应该是:在空间上,向我国南方的热带、亚热带地区扩展,特别是针对南方山地面积大、地形复杂的特点,开展以流域为单元的流域生态水文学机制的研究;在研究方法与手段上,采用多学科的研究方法,并应用遥感和计算机模拟技术。在研究对象上,进行森林、草地、湿地和水生生态系统等各种生态系统类型的水文学机制研究。对其研究目标的设定,则是以解决研究点所实际面临的水资源突出问题为出发点。

3 结语

(1) 综上所述,生态水文学作为一门新兴的交叉学科,在经历学科概念争论、理论准备和研究实践方法探讨的一系列过程后,因其具有解决生态环境问题(特别是淡水资源短缺)的有效性,及优越的可操作性等的优点,而可更好地服务于淡水资源的可持续管理和生态环境建设,为区域生态环境建设服务。

(2) 生态水文学是在全球淡水资源危机日益严峻的形势下产生的,是旨在揭示生态格局和生态过程水文学机制的一门新兴交叉学科,是生态学与

水文学的交叉学科。其学科的研究对象几乎涵盖了地球上所有的生态系统类型,包括湿地生态系统、干旱区生态系统、森林生态系统、河流生态系统和湖泊生态系统等。特别是对生态系统类型多样、生态环境脆弱、人口增长迅速、环境退化严重的区域,在寻求既保证经济社会快速增长又能维持生态环境健康状态的途径中,生态水文学研究可为该区域提供减少生态风险和扩大发展机会的途径和措施,显然是实现人们“又好又快”的社会发展目标的最佳选择。生态水文学的理论和研究方法体系将成为退化生态系统恢复与重建过程中一个不容忽视的工具。

致谢:文稿准备过程中,得到张一平研究员的悉心修改和指正;同时匿名审稿专家亦提出了建设性建议,在此一并表示诚挚感谢!

参考文献:

- [1] Gosz JR. Toward a global understanding - an introduction to the International Long Term Ecological Research Network [M]. The International Long Term Ecological Research Network 2000 - Perspectives from participating networks. Gosz JR, French C, Albuquerque New Mexico: Academy Printers, 2000
- [2] 方精云,唐艳鸿,林俊达,等. 全球生态学 - 气候变化与生态响应 [M]. 北京: 海德堡: 高等教育出版社; 施普林格出版社, 2000
- [3] 赵士洞. 国际长期生态研究网络 (ILTER) - 背景、现状和前景 [J]. 植物生态学报. 2001, 25(4): 510-512
- [4] 王根绪, 钱鞠, 程国栋. 生态水文科学研究的现状与展望 [J]. 地球科学进展. 2001, 16(3): 314-323
- [5] Zalewski M, Roberts R. Ecohydrology - a new paradigm for integrated water resources management [Z]. SIL news 2003, 40, 1-5
- [6] Zalewski M. Ecohydrology - the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources [J]. Ecological Engineering 2000, 16(1): 1-8
- [7] 赵文智, 程国栋. 生态水文学 - 揭示生态格局和生态过程水文学机制的科学 [J]. 冰川冻土. 2001, 23(4): 450-457
- [8] 夏 军, 丰华丽, 谈 戈, 等. 生态水文学 - 概念、框架和体系 [J]. 灌溉排水学报. 2003, 22(1): 4-10
- [9] Ingram H A. Ecohydrology of Scottish peatlands [J]. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences 1987, 78(4): 287-296
- [10] 严登华, 何 岩, 邓 伟. 水资源地域耦合空间结

构初探 [J]. 东北师大学报 (自然科学版). 2000, 32(4): 82-87.

[11] 严登华, 何岩, 邓伟, 等. 生态水文学研究进展 [J]. 地理科学. 2001, 21(5): 467-473

[12] Brinkmann W L, Magnuszewski A, Zober S. The structure and function of the Vistula River floodplain near Plock, Poland [J]. Ecological Engineering. 2000, 16(1): 159-166

[13] Hillbricht-Elkowska A, Rybak J, Rzepecki M. Ecohydrological research of lake-watershed relations in diversified landscape (Masurian Lake Land, Poland) [J]. Ecological Engineering. 2000, 16(1): 91-98

[14] Holzbecher E, Nutzmann G. Influence of the subsurface watershed on eutrophication - Lake Stechlin case study [J]. Ecological Engineering. 2000, 16(1): 31-38

[15] Kemp J L, Harper D M, Croas G A. The habitat-scale ecohydraulics of rivers [J]. Ecological Engineering. 2000, 16(1): 17-29

[16] 黄奕龙, 傅伯杰, 陈利顶. 生态水文过程研究进展 [J]. 生态学报. 2003, 23(3): 580-587

[17] 武强, 董东林. 试论生态水文学主要问题及研究方法 [J]. 水文地质工程地质. 2001, 28(2): 69-72

[18] Rodriguez-Iturbe I. Ecohydrology: a hydrological perspective of climate-soil-vegetation dynamics [J]. Water Resource Research. 2000, 36: 3-9

[19] N W K. Ecohydrology's past and future in focus [J]. Ecos. 2002, 83: 205

[20] Zbigniew W K. ecohydrology - seeking consensus on interpretation of the notion [J]. Hydrol. Sci. J. 2002, 47(5): 799-804

[21] Odum H T. Tropics structure and productivity of Silver Springs [J]. Florida Ecol Monogr. 1957, 27: 55-112

[22] Jansen A J, Maas C. Ecohydrological processes in at most flat wetlands [M]. Engineering hydrology. Kuo C Y, New York American Society of Civil Engineers. 1993, 150-155

[23] 严登华, 何岩, 邓伟. 流域生态水文格局与水环境安全调控 [J]. 科技导报 (北京). 2001(9): 55-57

[24] Dawes W R, Zhang L, Hatton T J. Evaluation of distributed parameter ecohydrological model (TOPOG_RM) on a small cropping rotation catchment [J]. Journal of Hydrology. 1997, 191(1-4): 64-86

[25] Thiele M. On N. Park's analytical solution for steady state density and mixing regime dependent solute transport in a vertical soil column [J]. Water Resource Research. 1998, 34(4): 903-908

[26] Biswas S P, Boruah S. Fisheries ecology of the northeastern Himalayas with special reference to the Brahmaputra River [J]. Ecological Engineering. 2000, 16(1): 39-50

[27] Wagner I, Zakwinski M. Effect of hydrological patterns of tributaries on biotic processes in a lowland reservoir - consequences for restoration [J]. Ecological Engineering. 2000, 16(1): 79-90

[28] Tatnai I, Matyas K, Komonai J, et al. The role of the Kis-Balaton Water Protection System in the control of water quality of Lake Balaton [J]. Ecological Engineering. 2000, 16(1): 73-78

[29] Van E R, Witte J P, Runhaar H, et al. Ecological effects of water management in the Netherlands: the model DEMNAT [J]. Ecological Engineering. 2000, 16(1): 127-141

[30] Witte J P, Van M R. Mapping ecosystem types by means of ecological species groups [J]. Ecological Engineering. 2000, 16(1): 143-152

[31] 郭跃东, 何岩, 邓伟, 等. 扎龙湿地生态水文格局特征及水环境功能分析 [J]. 水土保持研究. 2004, 11(1): 119-122

[32] 严登华, 何岩, 邓伟, 等. 呼伦湖流域生态水文过程对水环境系统的影响 [J]. 水土保持通报. 2001, 21(5): 1-5

[33] 赵文智, 程国栋. 干旱区生态水文过程研究若干问题评述 [J]. 科学通报. 2001, 46(22): 1851-1857

[34] 王根绪, 刘桂民, 常娟. 流域尺度生态水文研究评述 [J]. 生态学报. 2005, 25(4): 892-903

[35] 金博文, 刘贤德, 康尔泗, 等. 黑河流域山区植被生态水文功能的研究 [J]. 冰川冻土. 2003, 25(5): 580-584

[36] 刁一伟, 裴铁璠. 森林流域生态水文过程动力学机制与模拟研究进展 [J]. 应用生态学报. 2004, 15(12): 2369-2376

[37] 李崇巍, 刘世荣, 孙鹏森, 等. 岷江上游景观格局及生态水文特征分析 [J]. 生态学报. 2005, 25(4): 691-698

[38] 时忠杰, 王彦辉, 于澎湃, 等. 宁夏六盘山林区几种主要森林植被生态水文功能研究 [J]. 水土保持学报. 2005, 19(3): 134-138

[39] 石辉, 刘世荣. 森林土壤大孔隙特征及其生态水文学意义 [J]. 山地学报. 2005, 23(5): 533-539