

河岸植被缓冲带与河岸带管理*

邓红兵** 王青春 王庆礼 (中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

吴文春 邵国凡 (Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University, IN 47907, USA)

摘要 河岸带是水陆交错带的一种景观表现形式, 即岸边陆地上同河水发生作用的植被区域, 是介于河溪和高地植被之间的生态过渡带。目前, 河岸带的保护和管理日益为人们所关注, 并成为自然资源经营及管理不可缺少的部分。本文对国外河岸带管理有关的研究和实践进行了总结, 对河岸带管理的目标、作用、一般途径、面临的问题以及将来发展趋势进行了讨论, 并详细介绍了 USDA2FS 的河岸植被缓冲带系统。文章最后指出, 有必要在国内尽快开展河岸带管理的研究和实践。

关键词 河岸植被缓冲带 河岸带 生态系统管理

文章编号 1001- 9332(2001) 06- 0951- 04 中图分类号 Q149 文献标识码 A

On riparian forest buffers and riparian management. DENG Hongbing, WANG Qingchun, WANG Qingli(Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016); WU Wenchun, SHAO Guofan(Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University, IN 47907, USA). 2Chin. J. Appl. Ecol., 2001, 12(6): 951~ 954.

Riparian is a kind of landscape representation of aquatic2terrestrial ecotone, the vegetation area in the terrene that has interactions with waters, and the transition region between waters and upland vegetations. At present, people pay attention to the riparian conservation and management increasingly, and riparian management has been the indispensable aspect for management of natural resources. In this paper, the overseas research and practice of riparian management summarized and the objectives, effects, approaches, current problem, and developing direction of riparian management discussed. The riparian forest buffers system in the USDA2FS report introduced in detail, and it is necessary to develop the studies and practices of riparian management in China.

Key words Riparian forest buffers, Riparian, Ecosystem management.

1 引言

20 世纪后期, 森林生态系统中溪流、湖泊和湿地的管理是林业上最具革命性的变化和进展之一^[14]; 过去不适当的森林经营对水生态系统结构的负面影响和导致其生产力降低^[2, 12, 20]这一观点如今已被人们普遍接受^[14]。随着河溪生态系统^[6, 22, 35]和流域生态学^[7]研究的不断发展, 流域内的水陆交错带, 特别是河岸带的结构、功能和管理得到了越来越多的关注^[5, 13~ 14, 16~ 17, 24~ 25, 39, 42]。河岸带植被作为河岸带的一个重要组成部分, 具有重要生态功能、美学功能和社会经济功能。

随着社会生产力的迅速发展, 人类对自然的影响越来越大, 河岸带及其植被也不能幸免, 给河岸带的生态状况和人类的生、生活造成许多危害, 如河流防洪能力减弱、水质下降、河岸带生境恶化等。为了保护和管理自然河岸带, 恢复和重建被人类活动严重破坏的河岸带, 充分发挥河岸带的各种重要功能, 使河岸带真正成为人与自然和谐共处的开放空间^[33], 近年来国外在河岸带植被结构、功能和管理研究方面开展了许多工作; 相比之下, 国内才刚刚起步。本文主要评述国外河岸带管理方面的进展, 特别是详细介绍了美国农业部林业局(USDA2FS)制定的/ 河岸植被缓冲带区划标准^[34], 为国内开展相关研究和实践提供参考。

2 河岸带与河岸植被缓冲带

河岸带的定义最早为行政管理人员所用, 泛指靠近河边几十米内的区域; 在学术界, 首次对河岸带的定义出现在 20 世纪 70 年代末^[3, 11, 21, 32], 系指陆地上同河水发生作用的植被区域。之后, 该定义被拓展为广义和狭义两种。广义是指靠近河边植物群落包括其组成、植物种类多度及土壤湿度等同高地植被明显不同的地带, 也就是受河溪有任何直接影响的植被^[4]; 狭义指河水2陆地交界处的两边, 直至河水影响消失为止的地带^[13, 23, 28, 30], 目前大多数学者采用后一定义。显然, 河岸带是介于河溪和高地植被之间的生态过渡带, 它是最典型的生态过渡带, 具有明显的边缘效应^[5]。此外, 徐化成^[41]认为河岸带指的是河流两旁特有的植被带, 它是陆地生态系统和水生生态系统的交错区。Swanson 等^[31]认为河岸带是陆地生态系统和水生生态系统间的三维交接区, 其范围外至洪水到达的界线, 上至河岸带植物林冠的顶端。至于向岸上森林延伸多宽, 是一个存在争议且具有重要研究意义的问题。河岸带生态环境的突出特点是水分多、土壤肥力较高, 空气湿度也较高, 但有的季节洪水

* 中国科学院知识创新工程(KZCX22406)和国家自然科学基金资助项目(39970123)。

** 通讯联系人。

2000- 11- 28 收稿, 2001- 08- 14 接受。

泛滥, 河岸带常受淹没。其原因一是邻近有开阔的水体, 二是地下水水位高, 三是坡上部经常有水分流经这里汇集。河岸带的植被常独具特点^[41]: 这里的植物一般都具有需水量高、要求肥力强、耐水淹的生态学特性, 柳属和杨属植物是突出的代表。

河岸植被缓冲带是在欧美等河岸带研究和管理水平较高的国家常用的一个概念, 指河岸两边向岸坡爬升的由树木(乔木)及其它植被组成的, 防止或转移由坡地地表径流、废水排放、地下径流和深层地下水流动所带来的养分、沉积物、有机质、杀虫剂及其它污染物进入河溪系统的缓冲区域。美国农业部林务局(USDA2FS)早在1991年制定的/河岸植被缓冲带区划标准^[34], 就是为河溪水质保护, 防止农业污染而规划的河岸植被缓冲带系统及区内的管理规范, 它普遍适用于与坡地农田、草地或牧场相邻的河溪、湖泊水塘、洪泛区、水湿地、喀斯特落水洞和其它较少地下水排放区的河岸区域。

USDA2FS的系统是由3个具不同目的和管理要求的分区组成的河岸植被缓冲带。紧邻水边的A区是水平距离15英尺宽的以本地河岸树种和灌丛为优势种的沿河条带。不同种类的组合形成一个长期而稳定的落叶期, 各类落叶适合不同的水生昆虫能量和蛹变的需要, 树冠的遮荫可改善和稳定水温, 促进有益藻类的生长。成熟大树为河溪生态系统提供消化产物和粗木质碎屑。与A区相邻的B区所需的最小水平宽度为60英尺, 其植被组成仍是各类本地河岸树种及灌丛。A区和B区的共同目的在于缓冲作用提供稳定且足够的水土接触, 为养分在树木中较长的分离过程提供作用时间和碳物质能量源。A区和B区内缓冲过滤后的地表径流和废水将被转化为片流或地下径流; 地下排水系统不允许沿管道避开处理过程而通过河岸区, 而是必须转变为片流来流经河岸植被缓冲带处理, 或是在排入地表水之前已由另外的废水系统处理过。对A区的管理强调河岸的稳定性, 除移走个别极有价值的或是会造成危害(如阻塞河道)的树木外, 应保证A区的植被不受任何干扰。在A区植被达到60年时, 它将产生大量而稳定的残骸。因为大型残木可造成小水坝, 拦截滞留水生生物分解作用的消化残渣, 为河溪生态系统提供能量, 所以残木应该予以保留。对B区的特定管理要求包括定期砍伐和立木改良, 以维持其快速生长时的物质需求, 从而转移养分和污染物质。除此目的外, B区的植被、地被物和枯枝落叶层应保持不受干扰。B区内固氮植物在N需要转移的区域不受欢迎, 落叶树种由于生长过程中吸收的N和养分随落叶被淋溶产生的迁移作用而在B区中分外重要。气候温暖地区的常绿树种因为其潜在的在冬季吸收养分的作用而在B区也具有重要意义。为满足水生食物链中重要昆虫类对生境的需求, 多种植物的组合在B区是必需的。C区位于河岸带缓冲系统的最外侧, 与B区相邻, 最小水平宽度为20英尺, 在C区内可利用各种技术手段, 如改变坡度和设置引水道和扩散装置等来促使沉积物过滤和养分吸收, 并为把集流转变为统一的浅层片流提供空间。相应的植被可为多年生的密植草地和非禾本科草本。草地修剪和清除物清理是循环分离养分、加强草地生长和控制杂草的必要手段。维持植被的旺盛生长是此区的重要要求, 生长后的植被将被剪除用于放牧, 或者是其它手段清

理出C区。此区植被一年两次的检查矫正可帮助维持植被密度和排除沉积物积累等问题。C区在不破坏地面水控制系统的情况下还可以允许轻度放牧。

相对于河岸带而言, 河岸植被缓冲带是管理方面的一个概念, 由于其在转移非点源污染方面的有效作用, 在美国已被推荐为最优管理模式^[19, 29]。Sheridan等^[29]在美国海岸平原的河岸植被缓冲带由一个与河溪相邻的10m宽林带(A区)、一个坡下部的人工管理的45~50m宽的松林带(B区)及与农田相邻的8m宽的草地过滤带(C区)组成, 在区B的松林内实行3种不同的管理方式为未受影响的成熟林、皆伐和择伐, 经过4年的观察, 3种不同管理方式都对水流和沉积物有很显著的减轻作用。最主要的减少作用发生在草地过滤的C区, 径流减少量的56%~72%发生在该区。从农田排放的水流中的沉积物聚集率在3种不同森林管理模式下同样显著减少。平均有73%的沉积物被排除转移, 其中63%的转移作用发生在草地过滤区。该研究还证明了在河岸植被缓冲带进行适当的林业开发以获取相应的经济效益, 在不违背管理原则的基础上是可行的。

3 河岸带管理: 目的、意义与发展趋势

生态系统管理^[1, 43]的概念是在生态科学的发展过程中逐渐形成和发展的, 并非一般意义上对生态系统的管理活动, 它促使人类必须重新审视自己的管理行为^[43]。由于可持续发展主要依赖于可再生资源特别是生物资源的合理利用, 因而正确的生态系统管理极为重要, 是实现可持续发展的必由之路。

河岸带管理对于河流保护和流域生态系统管理而言, 是极为重要的第一步。由于河岸带是物种源(基因库)和野生动物的重要栖息地, 是河溪中粗木质碎屑和养分能量的来源; 它直接影响着河溪的微气候, 更保护着河溪的水质, 为人类的户外休闲提供场所, 为农、林、牧、渔业的发展提供基地^[5]; 是养分管理、沉积物和水土流失控制及保护水资源质量综合治理系统中一个关键组成部分, 有效发挥其功能对于流域生态系统而言也是必不可少的^[7]; 且一个脆弱或不健康的河岸带是不能使陆地和水域生态系统保持稳定的^[42]。因此, 对于河岸带的管理是极其重要的, 将对保护流域内的各种生物多样性、实现河岸带自身的各种功能具有十分重要的意义。河岸带管理是针对特定的生态系统(河岸带)来进行的管理活动, 它建立在生态系统管理的基础上, 其核心应该是河岸带植被特别是森林的正确管理, 管理的目标是保护与河岸带密切相关的各种资源和水生态系统, 以及为附近高地的动植物提供适宜的生境条件^[14]。

河岸带的保护和管理问题近年来在国外是一个比较热门的话题。过去农民一直在开垦河岸地带, 以便提供更多的农业用地, 城市的扩张蔓延也在占用土地, 并在这个过程中使水质下降。但是现在, 一种新的农业趋势正在不断地得到加强。这种趋势要求在紧靠溪水、河流等容易受到破坏的水道的地方重新种上植被。由于这些天然的缓冲物能够捕获废水或地下水中所夹带的大量泥沙、N、P和其它化学物质, 从而保护溪水, 所以河岸缓冲带对于确保水的清洁卫生应具有重要意义。这种观点认为, 种植草篱是防洪固土的一个好办法, 同时利用这种自然植

被还可以保护地下水。此外,对于流域排水条件良好的河岸湿地而言,利用人造森林作为缓冲带也是一个很好的方案。

目前,河岸带管理已成为美国自然资源经营及管理中不可缺少的部分^[5],在欧洲一些国家也极受政府和研究者的重视。一些最近的研究^[8, 18, 26~27, 29, 39]表明,恰当的河岸带管理可以使河岸带的缓冲功能得到很好的发挥,河岸带的宽度与物种保护也密切相关。如加拿大北部沿海森林内一种青蛙的种群密度在河岸带植被被砍伐的溪流中远低于具有成熟林缓冲带的溪流,并随河岸缓冲带宽度增加而增加^[9];在不列颠哥伦比亚东南部的研究^[18]表明,在高地和河岸带两种生境下,虽然平均鸟类种的丰富度没有明显差别,但在河岸带森林内的物种多样性和平衡性都高于前者,并且所有种类组成的密度及3种鸟类密度也高于高地森林,且随着河岸带保护区的宽度而增加。

一般地,确定河岸带的宽度应考虑河流的大小和宽度、河岸带树木的高度以及河岸带过程与生境的侧向影响范围等因素^[14]。一种新的观点是通过立地潜在树高^[14]来确定河岸带宽度,它建立在河岸带植被、溪流过程和微气候相互作用的基础上,这种方法直接和生态功能相联系,并可适用于不同的植被类型和地理位置。除河岸带宽度的确定外,河岸带管理的内容包括^[14]: 1) 河岸带中活树和枯立木的保持; 2) 河岸带树木遮荫的宽度; 3) 河漫滩的保护; 4) 廊道的大小; 5) 排水沟渠的尺度; 6) 道路的交叉穿越; 7) 采伐技术; 8) 控制土壤侵蚀。

Piegay 等^[27]认为,河岸带管理应保持其生态系统的动力学过程,且同时不增加产生洪水和土壤侵蚀的风险,一般的途径包括: 1) 采取法定的措施来保护河岸带中最具活力和功能的地段; 2) 在农业区域附近,至少应保持5m宽的植被廊道; 3) 防止河岸带植被廊道破碎化而成为一些较短的片段; 4) 大力鼓励河岸带植被的重建,并且恢复和更新泥沙等沉积物的输送系统。

河岸带管理无疑会因生态的、社会的、经济的和政治的因素而不断变化,但目前的发展趋势应该是: 1) 陆地生态系统和水域生态系统研究和管理更多的联合与交叉。河岸带作为水陆生态系统之间的过渡带或交错带,其管理的目标就是在发挥陆地生态系统和河岸带本身最大效益的同时,使水体得到更好的保护和恢复。2) 更加注重河岸带的生态功能和自然的森林模式^[14]。河岸带管理针对的是河岸带的生态功能,生态效益是管理所追求的主要目标;虽然在有些地区的河岸带可进行一定的经济开发,但这种开发也是有严格限制的。将来的河岸带管理需要更多河岸带森林动力学过程和演替方面的知识^[14]。3) 景观观点的纳入。1993年FEMAT(Forest Ecosystem Management Assessment Team)就在其向政府提交的报告^[10]中阐述了在景观尺度上进行河岸带管理,Ward^[37]认为生态系统管理必须在景观的尺度上保护和恢复生物多样性,并从河岸景观的角度出发论述了生物多样性格局、干扰和水域生态系统保护等问题。随着景观生态学研究手段的发展,GIS在河岸带管理和效益评价的应用^[15, 40]也日益增多。4) 生态学模型的应用。Weller等^[38]建立了有关的景观模型来描述河岸带宽度变化及其与景观输出间的关系,Lowrance等^[19]开发了河岸带生态系统管理模式来量化不同区域状况下缓冲带对水质的保护作用。虽然生

态学模型的应用存在一定的疑问,但它在河岸带管理中的引入无疑使管理更量化或者是具有预测性。5) 正确认识生态系统管理、工程措施和人工干扰之间的关系。工程措施在一些管理中被证明是有效的,但任何工程措施都应该符合生态学原则,在河岸带管理中,更应该注重生态的或自然的措施。在流域开发过程中,对于河岸带或水陆交错带的人工干扰是明显存在的,黄河下游滩区的开发就是一个典型的例子^[36]。现在的问题是,对河岸带或水陆交错带进行大面积的人工干扰是否合理^[36]。一般地,对水情稳定,洪涝灾害不大的河流,其河漫滩的适当开发是可以的;而对于那些径流季节变化大、历史上曾多次发生过洪涝灾害的河流,却不能轻易对其河漫滩进行大规模开发。例如,由于在河漫滩上植树或建筑施工等,常常会引起河道堵塞,使洪水不能正常下泄,从而使更大地区的生态环境变得脆弱。

4 结 语

随着经济的迅猛发展、城市化的快速推进,给河岸带的自然植被造成强烈破坏,河流和河岸环境急剧恶化,河流污染严重,河岸的各种生态过程被肆意破坏,使国家工农业生产和人民生命财产受到洪水的严重威胁。然而,同国外形成鲜明对比的是,在我国对河岸带植被结构和功能以及管理的生态学研究很少,且只考虑到河岸的娱乐功能而忽略河流的生态功能,河流及河岸带的生态环境并未真正得到恢复。显然,对河岸带的研究和管理还有许多问题亟待解决,当前这方面研究的重点: 1) 在小尺度上,利用常规生态学研究方法及现代数理统计方法,重点研究河岸带植被生物多样性、河岸带植被生态环境条件及其相互关系与动态。2) 确定河岸带宽度,制定河岸带缓冲区设计标准及其管理要求,为具体河溪(特别是大江大河发源地的森林流域河溪)的保护提供理论依据。3) 从大尺度角度,利用3S技术及现代数学方法(如非线性理论中的分形几何学、地统计学等)进行河岸带植被景观的人地关系及其时、空动态变化研究,特别要加强人为活动对河岸带植被影响的研究。4) 河岸带植被及生态系统管理的原理和措施研究。5) 加强河岸带的开发和管理的政策研究,制定河岸带规划、管理的合理政策,规定规划和开发城市河岸的具体结构指标。

河岸带管理相对其它生态系统管理而言,是一个新兴的领域,对于我国很多地区存在水资源短缺、水质恶化严重、物种急速减少等生态环境问题,开展河岸带管理和相关研究有着十分重要的意义。目前,国家正大力开展天然林保护、江河源保护以及流域治理等生态工程,而河岸带管理无疑和这些工程密切相关,甚至是其核心问题。因此开展并促进河岸带管理的研究和实践将是未来一段时期内生态学工作者和管理者面临的机遇和挑战。

参考文献

- 1 Agee J, Johnson D eds. 1988. Ecosystem Management for Parks and Wildness. Seattle: University of Washington Press.
- 2 Bisson PA, Quinn TP, Reeves GH et al. 1992. Best management practices, cumulative effects, longterm trends in fish abundance in Pacific

- Northwest river system. In: Naiman RJ ed. *Watershed Management: Balancing Sustainability and Environmental Change*. New York: Springer-Verlag.
- 3 Campbell AG, Franklin JF. 1979. Riparian vegetation in Oregon. s Western Cascade Mountains: composition, biomass, and autumn phenology. *Ecosystem Analysis Studies on Coniferous Forest Biomes*, Bulletin No. 14. Seattle: University of Washington, USA.
 - 4 Carleson D, Wilson L. 1985. Report of the riparian habitat technical task force. Final Report to Oregon Department of Forestry and Oregon Department of Fish and Wildlife. Salem, OR, USA.
 - 5 Chen JQ(陈吉泉). 1996. Riparian vegetation characteristics and their functions in ecosystems and landscapes. *Chin J Appl Ecol*, 7(4): 439 ~ 448. (in Chinese)
 - 6 Cummins KW. 1974. Structure and function of stream ecosystems. *Bioscience*, 24: 631~ 641
 - 7 Deng HB(邓红兵), Wang QL(王庆礼), Cai QH(蔡庆华). 1998. Watershed ecology—New discipline, idea and approach. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 9(4): 443~ 449. (in Chinese)
 - 8 Duncan A. 1990. A review: Limnological management and bio-manipulation in the London reservoirs. *Hydrobiologia*, 200/201: 541~ 548
 - 9 Dupuis L, Steventon D. 1999. Riparian management and the tailed frog in northern coastal forests. *For Ecol Manag*, 124(1): 35~ 43
 - 10 FEMAT. 1993. Forest ecosystem management: An ecological, economic, and social assessment. Report of FEMAT, 1993-7932071. Washington DC.
 - 11 Franklin JF, Perry DA, Schowater TD et al. 1991. Importance of ecological diversity in managing long-term site productivity. In: Perry DA eds. *Maintaining Long-term Productivity of Pacific Northwest Forest Ecosystems*. Portland, OR, USA: Timber Press.
 - 12 Gregory SV, Lamberti GA, Erman DC et al. 1987. Influence of forest practices on aquatic production. In: Salo EO, Cundy TW eds. *Streamside Management: Forestry and Fishery Interactions*. Contribution no. 57. Seattle, WA: Institute of Forest Resources, University of Washington.
 - 13 Gregory SV, Swanson FJ, McKee WA et al. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience*, 41: 540~ 551
 - 14 Gregory SV. 1997. Riparian management in the 21st century. In: Kohm KA, Franklin JF eds. *Creating a Forestry for the 21st Century: The Science of Ecosystem Management*. Washington DC: Island Press.
 - 15 Hunter JC, Willett KB, McCoy MC et al. 1999. Prospects for preservation and restoration of riparian forests in the Sacramento Valley, California, USA. *Environ Manag*, 24(1): 65~ 75
 - 16 Johnson RR, Jones DA. 1977. Importance, preservation and management of floodplain wetlands and other riparian ecosystems. USDA Forest Service General Technical Report RM-243.
 - 17 Johnson RR, Ziebell CD, Patton DA et al. 1985. Riparian ecosystems and their management: reconciling conflicting uses. USDA Forest Service General Technical Report RM-210.
 - 18 Kinley TA, Newhouse NJ. 1997. Relationship of riparian reserve zone width to bird density and diversity in southeastern British Columbia. *Northwest Sci*, 71(2): 75~ 86
 - 19 Lowrance R, Altier LS, Williams RG et al. 2000. REMM: the Riparian Ecosystem Management Model. *J Soil Water Cons*, 55(1): 27~ 34
 - 20 McIntosh BA, Sedell JR, Smith JE et al. 1993. Management history of eastside ecosystem: Changes in fish habitat over 50 years, 1935 to 1992. In: Hessburg PF ed. *Eastside Forest Ecosystem Health Assessment*. Volume III, Assessment. Washington, DC: USDA Forest Service.
 - 21 Meehan WR, Swanson FJ, Sedell JR. 1977. Influences of riparian vegetation on aquatic ecosystems with particular references to salmonoid fishes and their food supplies. In: Johnson RR, Jones DA eds. *Importance, Preservation and Management of Floodplain Wetlands and other Riparian Ecosystems*. USDA Forest Service General Technical Report RM-243. 137~ 145
 - 22 Minshall GW, Cummins KW, Peterson RC et al. 1985. Development in stream ecology theory. *Can J Fish Aquatic Sci*, 42: 1045~ 1055
 - 23 Naiman RJ ed. 1992. *Watershed Management: Balancing Sustainability and Environmental Change*. New York: Springer-Verlag.
 - 24 Naiman RJ, Decamps H eds. . 1990. *The Ecology and Management of Aquatic-terrestrial Ecotone*. UNESCO and Parthenon Publish.
 - 25 Nilsson C. 1992. Conservation management of riparian communities. In: Hansen L ed. *Ecological Principles of Nature Conservation*. London: Elsevier Applied Science.
 - 26 Ormerod SJ, Rundle SD, Lloyd EC et al. 1993. The influence of riparian management on the habitat structure and macroinvertebrate communities of upland streams draining plantation forests. *J Appl Ecol*, 30: 13 ~ 24
 - 27 Piegay H, Landon N. 1997. Promoting ecological management of riparian forests on the Drome River, France. *Aquatic Conservation Freshwater Ecosyst*, 7(4): 287~ 304
 - 28 Raedeke KJ. 1988. Streamside management: riparian wildlife and forestry interactions. Proceedings of A Symposium on Riparian Wildlife and Forestry Interactions. Contribution No. 59. University of Washington, Seattle, Washington, USA.
 - 29 Sheridan JM, Lowrance R, Bosch DD. 1999. Management effects on runoff and sediment transport in riparian forest buffers. *Trans ASAE*, 42(1): 55~ 64
 - 30 Swanson FJ, Fredriksen RJ, McCorison FM. 1982. Material transfer in a Western Oregon Forested Watershed. In: Edmonds RL ed. *Analysis of Coniferous Forest Ecosystems in the Western United States*. US/IBP Synthesis Series No. 14. Hutchinson Ross Publishing, Stroudsburg, Pennsylvania, USA.
 - 31 Swanson FJ, Gregory SV, Sedell JR et al. 1982. Land-water interactions the riparian zone. In: Edmonds RL ed. *Analysis of Coniferous Forest Ecosystems in the Western United States*. US/IBP Synthesis Series No. 14. Hutchinson Ross Publishing, Stroudsburg, Pennsylvania, USA.
 - 32 Thomas JW, Maser C, Rodiek JE. 1979. Riparian zones. In: Thomas JW ed. *Wildlife Habitats in Managed Forests: The Blue Mountains of Oregon and Washington*. USDA Forest Service Agricultural Handbook No. 553: 41~ 47
 - 33 Turner T. 1995. Greenways, blueways, skyways and other ways to a better London. *Landscape Urban Plan*, 33: 262~ 289
 - 34 USDA Forest Service. 1991. *Riparian Forest Buffers*. Report of USDA Forest Service, NA-2PR-07291
 - 35 Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW et al. 1980. The river continuum concept. *Can J Fish Aquatic Sci*, 37: 130~ 137
 - 36 Wang Z(王铮). 1993. *Introduction to Geography Science*. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
 - 37 Ward JV. 1998. Riverine landscapes: Biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Biol Conserv*, 83(3): 269~ 278
 - 38 Weller DE, Jordan TE, Correll DL. 1998. Heuristic models for material discharge from landscapes with riparian buffers. *Ecol Appl*, 8(4): 1156~ 1169
 - 39 Williamson RB, Smith CM, Cooper AB. 1996. Watershed riparian management and its benefits to a eutrophic lake. *J Water Resour Plan Man ASCE*, 122(1): 24~ 32
 - 40 Xiang WN. 1993. A GIS method for riparian water-quality buffer generation. *Int J Geograph Inf Syst*, 7(1): 57~ 70
 - 41 Xu HC(徐化成). 1996. *Landscape Ecology*. Beijing: Chinese Forestry Press.
 - 42 Yin CQ(尹澄清). 1995. Ecological function of inland aquatic-terrestrial ecotone and foreground of its protection and exploitation. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 15(3): 331~ 335. (in Chinese)
 - 43 Zhao SD(赵士洞), Wang YZ(汪业勤). 1997. Basic problems on ecosystem management. *Chin J Ecol(生态学报)*, 16(4): 353~ 358. (in Chinese)

作者简介 邓红兵,男,1971年生,博士,副研究员,主要从事森林流域方面的生态学研究。E-mail: hongb2deng@yahoo.com.