

滨岸缓冲带农业面源污染控制技术研究进展

卢宝倩¹, 黄沈发^{1, 2}, 唐 浩²

(1. 东华大学环境科学与工程学院, 上海 200051; 2. 上海市环境科学研究院, 上海 200233)

摘要 滨岸缓冲带是陆地生态系统和水域生态系统之间的重要过渡带, 具有明显的边缘效应, 是控制农业面源污染的有效措施。从滨岸缓冲带对径流水的净化机理、生态功能恢复、植物选型、适宜宽度、模型研究和运行管理等方面, 综合分析了其研究现状, 提出了国内相关研究的薄弱环节, 并对今后研究方向进行了展望, 以为滨岸缓冲带技术的进一步推广应用提供借鉴和参考。

关键词 面源污染 缓冲带 净化机理 最佳宽度 模型

中图分类号 X322 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2007)S1-0007-04

有效控制农业面源污染是保护农业生态环境的重中之重^[1]。农业生产过程中由于降雨等因素导致的养分、农药流失不可避免, 在最大限度降低其产生量的前提下, 如何减少其入河量, 是现在解决农业污染问题的主要研究方向之一。

滨岸缓冲带(Riparian buffer strips), 全称滨岸保护缓冲带(Riparian conservation buffer strip), 是指河水-陆地交界处的两边, 直至河水影响消失为止的地带, 是介于河溪和高地植被之间的生态过渡带^[2]。滨岸缓冲带对农田地表径流中携带的营养物质、颗粒物、农药等污染物, 具有较高的截留、吸收作用^[2, 3]。因此, 可以利用滨岸缓冲带防治水体污染、改善河湖水质。滨岸缓冲带作为陆地和水域生态系统的交错地带, 同时还具有滨岸景观、生物栖息地、廊道连接、改良土壤生境、水土保持等多种功能^[3, 4], 所以滨岸缓冲带在水陆生态系统中扮演着重要角色。

1 国内外研究进展

1.1 滨岸缓冲带对地表径流的净化机理

农村水环境恶化主要是由于农田径流携带的大量 N、P 等营养元素向河流水体转移的结果^[1], 因此, 制定农村水环境治理的相关策略, 应着眼于农业非点源污染防治和源头污染控制两个方面。滨岸缓冲带生态治理技术, 可有效控制农村水污染^[5], 应根据当地的土地利用状况、气候条件、农作物品种等因

素对滨岸缓冲带进行设计和建设, 以改善农村水环境污染问题。

滨岸缓冲带的植物对农田地表径流、排放的废水、地下径流及深层地下水流中携带的营养物质、沉积物、有机质等污染物质具有良好的吸收、沉淀功能, 可以在其进入水体之前起到一个净化、过滤的缓冲作用^[6-7], 形成一个阻碍污染物质进入水体的生物和物理障碍, 从而达到改善水质的目的, 是控制农业面源污染的一个最为有效的形式。同时, 将农田与水体之间的缓冲区域应用于实践中, 还能通过林荫、岩屑、植物残骸等改变水流的物理和化学环境^[8]。

早在 20 世纪 80 年代, 国外的生态学家便结合了实验、比较、数学模拟等方法^[7-11], 对滨岸缓冲带的构造与非点源污染物迁移之间的联系进行了研究。Stephanie M 等^[10]的研究表明, 磷衰减率的差异与滨岸缓冲带中湿地所占的比率、滨岸植被的连续性, 以及缓冲带中的缝隙频度等参数相关紧密。Tara Reed 等^[11]在对滨岸缓冲带对 N、P 等污染物质的吸收、沉淀作用的研究中发现, 营养物质(元素)会优先经过滨岸缓冲带较窄(低于平均滨岸缓冲带宽度)的区域或者是经过缝隙迁移, 导致自然滨岸缓冲带净化效率的降低。美国农林部调查显示, 由于随农田地表径流迁移的大量土壤颗粒物中包含了大量 P, 因此颗粒物被滨岸缓冲带植被滞留、沉淀的同时, 也使得径流中的含 P 量大幅度减少^[8]。Lowrance 等^[8]在滨岸缓冲带对农田径流中 N、P 去除作用的

研究中也表明,农田地表径流在经过滨岸缓冲带之后,剩余的 N、P 总量仅为原始值的 1/7。

1.2 滨岸缓冲带的生态功能恢复

随着人类活动范围的不断扩大,河岸带自然植被遭到破坏,生物多样性下降,加之河坝、河堤等人为因素的干扰,使得滨岸带生态环境受到了一定的影响。因此,滨岸缓冲带生态系统的修复与重建便成为当今恢复生态学与流域生态学的主要研究之一^[12-13]。

David L 等^[13-14]强调,若要恢复滨岸带的生态系统服务功能,就要消除自然的或人为的干扰压力,并且采取相应的措施加强管理。Qureshi 等^[15]对如何恢复昆士兰州滨岸缓冲带的生态系统服务功能进行了分析确定。夏继红等^[16]认为,河岸带生态系统综合评价的基础,是建立合理有效的河岸带生态系统综合评价指标体系,而河岸带生态系统综合评价应包括:结构稳定性评价、景观适宜性评价、生态健康评价、生态安全性评价等方面。张建春等^[3,17]在文中指出,滨岸缓冲带退化的主要原因是人为因素引起的生物群落结构的逆向演替及生态功能下降,退化滨岸缓冲带生态恢复与重建的理论基础是恢复生态学。邓红兵等^[4,18,19]对不同区域、不同气候条件的滨岸缓冲带中植物、群落物种进行研究后,认为通过对退化的滨岸缓冲带进行生态恢复与重建,可以达到恢复水生植被、增加滨岸缓冲带的湿地生态系统生物多样性和稳定性、净化水质、抑制藻类生长、控制水域富营养化等目的。

1.3 滨岸缓冲带的植物选型

不同的草本植物,其生长习性、状态、种植密度、成长周期的不同,导致对农田径流水中营养物质、颗粒物、农药等污染物的截留、吸收效果有较大的差异^[20]。同时农田径流水在滨岸缓冲带内的流动速率、下渗程度等动力因子,也会对面源污染防治效果造成影响^[1]。因此,不同地域的滨岸缓冲带,要根据其自然地理状况、景观功能,并结合当地的气候、土地利用状况、土著植物等因素,综合考虑、筛选适宜种植的植被。

一些学者对滨岸缓冲带的物种组成、分布状况、多样性等特点进行了分析,并结合当地的用地状况、气候特点、滨岸缓冲带的景观功能等因素,对当地适宜草种以及植物配型进行筛选实验,以便为滨岸缓冲带的实际应用提供依据。蔡锡安等^[21]针对广州流溪河裸露河堤进行生态改造,分别选取了一段河堤以及两块不同性质的滨岸缓冲带进行适宜草种筛选实验。杨海军等^[22]选取芦苇对受损河岸的生态系统进行修复,并指出利用芦苇,在修复河岸生态环

境的同时,还有节省劳力、时间和成本等优点。李睿华等^[23]在山东省淄博孝妇河黄土崖段的河滩区域分别设计了香根草+沉水植物、湿生植物+香蒲+芦苇两种混合植物带,研究其对污染河水中的污染物质降解效果。文中指出香根草+沉水植物带对污染物的去除效果最好。

1.4 滨岸缓冲带的适宜宽度

滨岸缓冲带的宽度,决定其能否充分发挥生态服务功能,且宽度适宜与否将直接影响其效能的发挥^[24-26]。国外学者通过对滨岸缓冲带水文特征、截污能力、土地特征、植被类型等进行了综合研究分析,从不同的角度分析了缓冲带宽度描述的方法以及缓冲区适宜宽度的确定,为相似条件的滨岸缓冲带研究提供了借鉴。

由于不同地域滨岸缓冲带各种参数的不一致,使得到目前为止,人们还是无法确定一个比较统一的滨岸缓冲带的有效宽度。在美国西北太平洋地区,人们普遍使用 30 m 的河岸植被带作为缓冲区的最小值。华盛顿州海岸线管理法案(the Washington State Shoreline Management Act)规定,位于河流 60 m 范围内或百米以内的河漫滩范围内,以及与河流相联系的湿地都应该受到保护,而且保护范围越大越好^[24]。Philip Lee 等^[25]建议,在河流两岸 150 m 范围内的任何人类活动都应该得到相关机构和公众的评价。这些大多是一种定性的范围划分,然而由于影响滨岸缓冲带宽度的因素很多,它主要取决于河流的类型、地质、土壤、水位以及相邻土地的使用情况等,因此不同的河道其宽度是不同的,小则几米,大到几百米,甚至几千米,所以不能用统一标准来衡量^[24-26]。

1.5 滨岸缓冲带的模型研究

在一个典型的农田区域,滨岸缓冲带的性质及其规模随着农田径流量的不同而在不断发生变化,因此,不少学者致力于开发相关模型,对农田径流带入受纳水体中的营养物质总量与滨岸缓冲带的宽度、湿地所占比率、滨岸植被的连续性、径流水下渗程度等各要素之间的相关性及其协同作用、相互关系进行集成化模拟^[27-29],可以将所得结果作为建立滨岸缓冲带控制非点源污染的决策依据,对整个滨岸带的相关研究起到了指导性的作用。

国外对河岸生态系统模型进行了较多的研究,当前较为成熟、应用较为广泛的当数 REMM 模型^[27-30]。REMM 是一种计算机模拟模型,它可以模拟河岸带的水文、C、N、P 营养物质循环、迁移及植被的生长过程,还可以模拟不同缓冲带的长度、坡度、土壤类型、植被类型对水体质量的影响,通过这个模

型,可以研究多因素对滨岸缓冲带过滤效率的影响;选择河岸缓冲带适宜宽度;分析在增加污染负荷的条件下,缓冲带的过滤效率;模拟分析不同植被对污染物的拦截效果;确定营养物质在缓冲带的迁移过程及N、P饱和度^[30-31]。

1.6 滨岸缓冲带的运行管理

合理管理滨岸缓冲带,对保护流域内的各种生物多样性、实现滨岸带自身的各种功能具有十分重要的意义^[33-34]。滨岸缓冲带的管理应针对滨岸缓冲带这个特定的生态系统进行,并且应建立在生态系统管理的基础上,以保护与滨岸缓冲带密切相关的各种水土资源和生态系统,为附近区域的动植物提供适宜的生存条件,同时还应兼顾土地征用相关事宜^[35-36]。

Nisbet^[36]的研究表明,若采用建设林木来设计并建立滨岸缓冲带,由于林木生长期长,导致获得经济回报的周期长,不能被广大农民所接受,因此建议在滨岸缓冲带区域种植如坚果、水果、观赏性植物等能在短期内取得收益的植被,在获得收益的同时改善流域水质,且较易于被农民接受并实施。张建春等^[3-4]分别对滨岸缓冲带管理的目标和应遵守的原则进行了阐述,并指出今后滨岸缓冲带的管理应朝着强调生态功能和自然河岸带森林类型、采用流域景观观点认识河岸带、发展恢复河岸带生态系统特征的生态监测系统、关注社会对河岸带资源的需要等4个发展方向。

2 问题与展望

目前国内外对滨岸缓冲带的研究,在对滨岸缓冲带的作用和功能进行讨论的基础上,进一步分析了各种因素的变化特征和驱动因子,为滨岸缓冲带的管理提供了重要的指导作用。

然而,研究中依然存在某些不足,主要表现在较多地分析了人类活动对水体的影响,忽略了水体的自然地理特征及其变化对滨岸缓冲带保护和利用开发的限制约束,大多数研究主要针对滨岸缓冲带的自然特征、社会属性、影响程度等方面,而对滨岸缓冲带的负荷能力,如维持生态服务功能的能力、生态敏感区域、开发建设的范围和强度、改善土壤及水体生境等方面的研究则较少。

此外,国内对缓冲带的研究起步较晚,相关研究主要停留在河岸缓冲带土地利用、生态护坡等方面,缺乏系统性的针对滨岸缓冲带研究,并且存在以下问题:①定性分析较多,定量分析较少;②单因素分析较多,多因素综合分析较少;③理论实验研究较多,应用性示范研究较少。

因此,开展滨岸缓冲带研究,首先应进一步摸清机理,对不同区域的典型滨岸缓冲带进行对比分析,研究不同滨岸缓冲带中各个要素之间相互作用机制的区别和共性,研究不同代表性区域的滨岸缓冲带的生境改善效果,对缓冲带土壤、水体生境改善程度进行定量分析,结合地理学、生态学、水文学、地貌学、地图学等多种学科,对滨岸缓冲带开展集成研究;其次应对其生态服务功能进行评估,进一步利用描述滨岸缓冲带景观结构的景观指数,来对滨岸缓冲带的空间格局进行量化描述,改进数据分析技术,选择合适的数据源对滨岸缓冲带的各项参数指标进行分析,并且研究更适宜的数据分析技术,提高数据获取的效率,建立相关模型,模拟不同情况、不同参数时滨岸缓冲带对农业非点源污染的处理效率和状况;第三应加强工程实践研究,从推广应用的角度进行滨岸缓冲带的维护、管理最优模式研究,以实现景观效益、社会效益、环境效益和经济效益的有机统一。

参考文献:

- [1]毛战坡,彭文启,李贵宝,等.利用生态技术治理农村水环境[J].水文水资源,2004,7:32-33.
- [2]NILSSON C, BERGGRE K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation[J]. Bioscience, 2000, 50(9):783-793.
- [3]张建春,彭补拙.河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建[J].生态学报,2003,23(1):56-63.
- [4]邓红兵,王青春,王庆礼,等.河岸植被缓冲带与河岸带管理[J].应用生态学报,2001,12(6):951-954.
- [5]董凤丽,袁峻峰,马翠欣.滨岸缓冲带对农业面源污染 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TP的吸收效果[J].上海师范大学学报:自然科学版,2004,33(2):93-97.
- [6]晏维金.氮磷在水田湿地中的迁移转化及径流流失过程[J].应用生态学报,1999,10(3):312-316.
- [7]JON E S, KARL W J W, JAMES J Z. Nutrient attenuation in agricultural surface runoff by riparian buffer zones in Southern Illinois, USA[J]. Agroforestry Systems, 2005, 64:169-180.
- [8]LOWRANCE R, McINTYRE S, LANCE C. Erosion and deposition in a field/forest system estimated using cesium-137 activity[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1988, 43:195-199.
- [9]ERIC O Y, RUSSELL D B. Shallow ground water nitrate-N and ammonium-N in cropland and riparian buffers. Agriculture[J]. Ecosystems and Environment, 2005, 109:297-309.
- [10]STEPHANIE M P, ROBERT J D, COLLEY A B. Predictions of stream nutrient and sediment yield changes following restoration of forested riparian buffers[J]. Ecological Engineering, 2005, 24:551-558.

- [11] TARA R ,STEPHEN R C. Comparisons of P-yield ,riparian buffer strips and land cover in six agricultural watershed[J]. Ecosystems 2002 5 :568-577.
- [12] 彭少麟.退化生态系统恢复与恢复生态学[J].中国基础科学 2001 3 :18-24.
- [13] DAVID L C. Principles of planning and establishment of buffer zones[J]. Ecological Engineering 2005 24 :433-439.
- [14] LENA B M V ,GILLES P ,ANN F etc. Structure and function of buffer strips from a water quality perspective in agriculture landscape[J]. Landscape and Urban Planning ,1995 31 :323-331.
- [15] QURESHI M E ,HARISON S R. A decision support process to compare riparian revegetation options in Scheu Creek catchment in North Queenslan[J]. Journal of Environmental Management 2001 62 :101-112.
- [16] 夏继红 ,严忠民 ,蒋传丰.河岸带生态系统综合评价指标体系研究[J].水科学进展 2005 ,16(3) 345-348.
- [17] 颜昌宙 ,金相灿 ,赵景柱 ,等.湖滨带退化生态系统的恢复与重建[J].应用生态学报 2005 ,16(2) 360-364.
- [18] 尹发能 ,张中旺 ,胡茂永.汉江中下游污染防治湿地系统研究[J].温州师范学院学报 :自然科学版 ,2003 ,24 (2) :75-79.
- [19] 李贵宝 ,李建国 ,毛战坡 ,等.白洋淀非点源污染的生态工程技术控制研究[J].南水北调与水利科技 ,2005 ,3 (1) :41-43.
- [20] 鲁敏 ,曾庆福.七种植物的人工湿地处理生活污水的研究[J].武汉科技学院学报 2004 ,17(2) 32-35.
- [21] 蔡锡安 ,夏汉平 ,崔玉炎.广州流溪河河岸缓冲带生态治理的优良草种筛选试验[J].生态环境 ,2004 ,13(3) :342-346.
- [22] 杨海军 ,张化永 ,赵亚楠 ,等.用芦苇恢复受损河岸生态系统的工程化方法[J].生态学杂志 ,2005 ,24(2) :214-216
- [23] 李睿华 ,管运涛 ,何苗 ,等.河岸混合植物带处理受污染河水中试研究[J].环境科学 2006 27(4) :651-654.
- [24] NILSSON C ,BERGGREA K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation[J]. Bioscience ,2000 ,50(9) :783-793.
- [25] PHILIP L ,CHERYL S ,STAN B. Quantitative review of riparian buffer width guidelines from Canada and the United States [J]. Journal of Environmental Management ,2004 ,70 :165-180.
- [26] DANIELS R B ,GILLAM J W. Sediment and chemical load reduced by grass and riparian filters[J]. Soil Science Society of America Journal ,1996 ,60 :246-251.
- [27] LOWRANCE R ,ALTIER L S ,WILLIAMS R G ,et al. REMM : the Riparian Ecosystem Management Mode[J]. Journal of Soil and Water Conservation Ankeny 2000 55 :27-34.
- [28] TUCKER M A ,THOMAS D L ,BOSCH D D ,et al. GIS-based coupling of GLEAMS and REMM hydrology : I. development and sensitivity[J]. Transactions of the ASAE ,2000 ,43(6) :1525-1534.
- [29] INAMDAR S P ,SHERIDAN J M ,WILLIAMS R G ,et al. Riparian ecosystem management model(REMM) : I. testing of the hydrologic component for a coastal plain riparian system [A]. Transactions of the ASAE[J],1999 42(6) :1679-1689.
- [30] WELLER D E ,JORDAN T E ,CORRELL D L. Heuristic models for material discharge from landscapes with riparian buffers [J]. Ecol Appl ,1998 8 :1156-1169.
- [31] 范小华 ,谢德体 ,魏朝富.河岸带生态系统管理模型研究进展[J].中国农学通报 2006 22(1) 277-282.
- [32] ELLEN M ,CARL J B ,GARRY J S. Should riparian buffers be part of forest management based on emulation of natural disturbance ?[J]. Forest Ecology and Management 2004 ,187 :185-196.
- [33] WANG L ,WANG W D ,GONG Z G. Integrated management of water and ecology in the urban area of Laoshan district ,Qingdao ,China[J]. Ecological Engineering 2006 27 :79-83.
- [34] 卢宏伟 ,曾光明 ,金相灿 ,等.湖滨带生态系统恢复与重建的理论技术及其应用[J].城市环境与城市生态 ,2003 ,16(6) 91-93.
- [35] MACDONALD S E ,EATON B ,MACHTANS C S. Is forest close to lakes ecologically unique ? Analysis of vegetation , small mammals ,amphibians and songbirds[J]. Forest Ecology and Management 2006 223 :1-17.
- [36] NISBET T R. The role of forest management in controlling diffuse pollution in UK forestry[J]. Forest Ecology and Management 2001 ,143 :215-226.

(收稿日期 2007-04-03 编辑 徐 娟)