

不同坡度缓冲带径流污染净化效果及其最佳宽度

王 敏, 吴建强, 黄沈发, 吴 健

(上海市环境科学研究院, 上海 200233)

摘要:在前期资料调研、小试试验和基地选址的基础上,选择百慕大草皮构建了 2%、3%、4% 和 5% 四种不同坡度结构的滨岸缓冲带试验基地,开展径流污染物净化效果现场试验。结果表明,坡度与缓冲带径流悬浮固体颗粒物(SS)截留效果显著相关,19m 长的 2% 坡度缓冲带末端的 SS 截留率达到 84%,而 5% 坡度只有 70%;2% 坡度缓冲带末端渗流出水总氮(TN)、总磷(TP)平均浓度分别比 5% 坡度低 $1.63 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,在进水 TP 平均浓度范围为 $0.9 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,4 种不同坡度试验带的渗流出水 TP 浓度均低于《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) IV 类水标准;通过计算,末端 SS 去除率为 80% 时,2% 坡度需要的缓冲带最佳宽度为 16.1m,5% 坡度则为 24.7m,两者相差达 8.6m。

关键词:滨岸缓冲带;坡度;面源污染;最佳宽度;上海

文章编号:1000-0933(2008)10-4951-06 中图分类号:Q149, X171 文献标识码:A

Effects of slope and width of riparian buffer strips on runoff purification

WANG Min, WU Jian-Qiang, HUANG Shen-Fa, WU Jian

Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4951 ~ 4956.

Abstract: A series of pilot experiments of runoff pollution purification were conducted on riparian buffer strips covered with *Cynodon dactylon* at different slopes of 2, 3, 4, and 5%. Results showed that there is a significant relationship between slope gradient and intercept rate of suspended solid (SS) carried by runoff. 84% of SS was trapped on the 19m long strip with the slope of 2%, while 70% of SS removal on the slope of 5%. TN and TP removal rates were higher at the slope of 2% than that at 5%, in which average concentrations of seepage at the slope of 2% were lowered up to $1.63 \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$ and $0.1 \text{ P mg} \cdot \text{L}^{-1}$ respectively, while effluent TPs in all experiment treatments were met surface water criteria Class IV (GB3838-2002) with influent TPs varied from $0.9 - 1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Results also showed that the optimal strip width was 16.1m at the slope of 2%, compared to 24.7m at 5%.

Key Words: buffer strips; slope gradient; non-point pollution; optimal width; Shanghai

国内外研究实践表明,滨岸缓冲带(riparian buffer strips)是截留陆域面源污染物、改善河道水质的有效手段^[1~5]。但是,影响缓冲带截留沉积物和滞留养分的因素很多,其中一个重要的变量就是缓冲带的坡度结构。坡度越小,地表径流流速越低,流经缓冲区的时间越长,污染物截留和降解效率也越高^[6]。在众多河流整治实践应用中:一方面,滨岸缓冲带形成的坡度多种多样,对其进行大规模工程改造不切实际;另一方面,受到河

基金项目:上海市科学技术委员会科研计划资助项目(04DZ12032)

收稿日期:2007-07-11; 修订日期:2008-03-24

作者简介:王敏(1978~),女,上海人,硕士,主要从事生态安全评价、环境规划与管理研究。E-mail:wangmin@saes.sh.cn

Foundation item: The project was financially supported by Shanghai Committee of Science and Technology, China(No. 04DZ12032)

Received date: 2007-07-11; Accepted date: 2008-03-24

Biography: WANG Min, Master, mainly engaged in ecological security assessment, environmental planning and management. E-mail: wangmin@saes.sh.cn

流两岸土地资源的限制,滨岸缓冲带的建设也不能无止境地扩大宽度来提高其面源污染防治的功效。因此,滨岸缓冲带技术的推广应用必须因地制宜,利用有限的土地资源充分发挥其各方面的功能。本研究选择上海市青浦区东风港建立滨岸缓冲带试验基地,开展面源污染防治现场试验,旨在对比不同坡度缓冲带对径流污染物净化效果的差异,并探索性地提出缓冲带最佳宽度的确定方法,为上海及全国类似地区开展滨岸缓冲带研究和生产实践提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 基地选址

试验基地选址于上海市青浦区华新镇镇级河道东风港东侧,位于上海市西部、苏州河上游区域,经度 $121^{\circ}236'$,纬度 $31^{\circ}257'$ 。该地区年平均气温 17.6°C 左右,月平均气温以1月份最低约为 5.6°C ,8月份最高约为 29.8°C 。全年无霜期230d,年均降雨量1104.4mm,降雨天数130d左右,主要集中在5至10月份的汛期。当地土壤类型为青紫泥和沟干泥,土质属粘壤土,质地略显粘重。

1.2 植被选择

通过资料调研,选择上海地区常见的5种草皮,百慕大(*Cynodon dactylon*)、高羊茅(*Festuca Arundinacea*)、白花三叶草(*Trifolium repens*)、黑麦草(*Lolium perenne*)和马蹄金(*Dichondra repens*)开展小试试验,经过污染物净化效果、耐污能力等综合比较,最终选择百慕大作为现场试验草皮种类。百慕大为多年生暖季型草本,植株低矮,耐践踏,抗高温,抗干旱,繁殖速度快,恢复力强,叶丛密集并覆盖于整个地表,适合于华东地区生长,绿期可达270d左右。

1.3 试验条带建设

对东风港一侧坡岸进行适当改造,构建2%、3%、4%和5%等4种坡度百慕大草皮缓冲带试验条带,每个条带长19m,宽2m,每两个条带之间用防渗薄膜隔开,防止相互干扰。每条试验带沿程居中布设8个采样点,离进水端距离分别为3、6、8、10、12、14、16、19m,同步采集径流水和渗流水样。径流水通过取样点设置的径流分离器采样。渗流水通过取样管采集,取样管为U-PVC管,直径100mm,埋深80cm,管壁周围开直径5mm孔,管周边填充砾石。

1.4 试验方法

根据上海地区农田面源污染特征^[7,8],人工配置径流废水,模拟上海地区降雨径流的汇流过程开展现场试验研究:

(1)降雨量40mm,和降雨历时45~60min。

(2)径流废水配置,根据农田地表径流中的氮、磷和悬浮固体颗粒物(SS)污染物排放强度,采用碳酸氢铵、过磷酸钙和泥土颗粒配制径流废水。

(3)监测方法,现场试验从2006年5月开始每个月1次,连续6次。检测因子因径流和渗流而异,径流水为SS,渗流水为TN和TP。试验分析方法参照《水和废水监测分析方法》^[9]。

1.5 工艺流程

模拟暴雨径流特征,由东风港抽水至配水池,将人工配置的径流废水通过配水池进入试验条带,最后径流废水经试验条带净化后重新回到东风港,工艺流程如图1。

2 结果分析

2.1 径流水悬浮固体颗粒物(SS)净化效果

6次试验径流水中的SS平均浓度及去除率沿程变化如图2。

由图2可以看出,在进水SS平均浓度范围为400

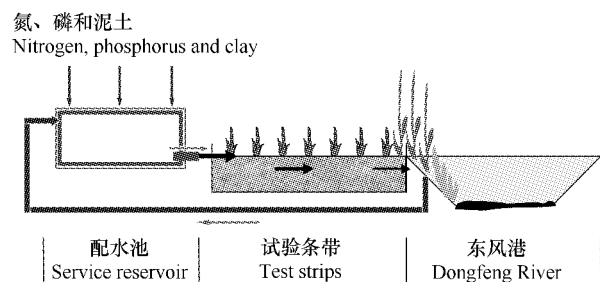


图1 滨岸缓冲带试验区条带工艺流程

Fig.1 Flow chart of the pilot experiments

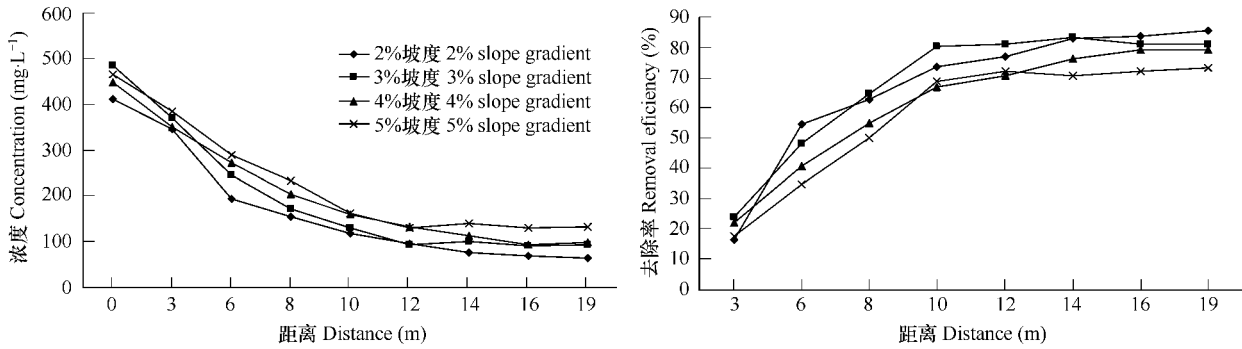


图2 4种坡度缓冲带径流SS平均浓度和去除率沿程变化

Fig. 2 Changes of SS concentration and removal efficiency of runoff along the four slope gradient buffer strips

~500mg/L的相同条件下,4种不同坡度试验带径流出水SS浓度沿程逐渐降低,特别是在前端12m下降趋势明显,12m距离的SS截留率均达到60%以上。这充分说明缓冲带在面源污染防治方面的突出作用就是截留径流中的SS,缓冲带通过其种植的浓密草皮层,有效地滞缓了径流,在较短时间、较短距离内迅速沉降、截留和吸附了径流中的各类悬浮物质。

从末端出水来看,2%坡度SS平均浓度为64 mg·L⁻¹,而5%坡度则为132 mg·L⁻¹,差异明显。从末端平均去除率来看,2%坡度试验带去除能力最为稳定,平均去除率也最高,达到84%;5%坡度最低,仅为70%,两者相差达14%。坡度的变化对地表径流污染物的截留效果产生了较大的影响,对4种坡度缓冲带末端SS去除率差异进行方差分析得结果如图3。结果显示,5种不同坡度缓冲带两两之间SS去除率差异均为显著水平($P < 0.05$)。

2.2 渗流水TN、TP净化效果

6次试验渗流水中TN、TP平均浓度沿程变化如图4和图5。

由图4可以看出,在进水TN平均浓度范围为13.0~14.0 mg·L⁻¹条件时,4个不同坡度试验带渗流水TN浓度沿程逐渐降低。从各试验带末端的渗流水TN平均浓度来看,2%、3%、4%和5%分别为2.79、3.38、3.76 mg·L⁻¹和4.42 mg·L⁻¹,不同坡度对渗流水TN的降解能力差异较大。

由图5可以看出,在进水TP平均浓度范围为0.9~1.0 mg·L⁻¹条件时,渗流水TP在缓冲带中的沿程变化体现出与TN一样的规律,都是沿程浓度逐渐降低,2%坡度降解能力最强,5%坡度最弱。从各试验带末端的渗流水TP平均浓度来看,2%、3%、4%和5%分别为0.15、0.17、0.20 mg·L⁻¹和0.25 mg·L⁻¹,均低于《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)IV类水标准,其中2%、3%和4%坡度达到了III类水标准。

2.3 不同坡度缓冲带最佳宽度确定

根据相关研究已知,缓冲带的宽度与陆域面源污染物的截留效果呈正相关,但由于受土地资源的限制,缓冲带的宽度不能过大^[10]。为了在有限的土地资源条件下,达到控制面源污染的最佳效果,需要确定缓冲区的最佳宽度。而要确定缓冲区最佳宽度,不仅要认识到缓冲区宽度是自然可变的,而且必须考虑影响缓冲区功能发挥的主要变量^[11]。这些主要变量包括:降雨量、植被类型、坡度、土壤性质、水功能区划要求等。

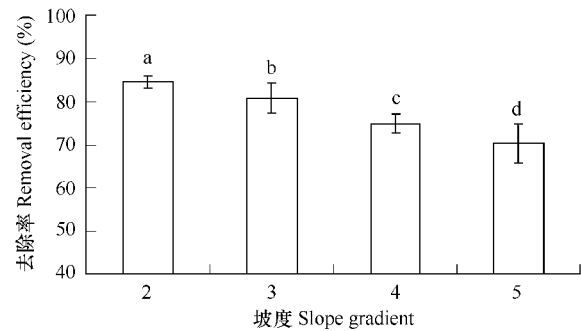


图3 同坡度缓冲带SS截留率差异分析

Fig. 3 SS removal efficiency difference of different slope gradient buffer strips

a、b、c、d四个不同字母表示4个不同坡度缓冲带两两之间SS去除率差异均为显著水平($P < 0.05$); Four different code letters denote the significantly difference between the SS removal efficiency of four gradient buffer strips

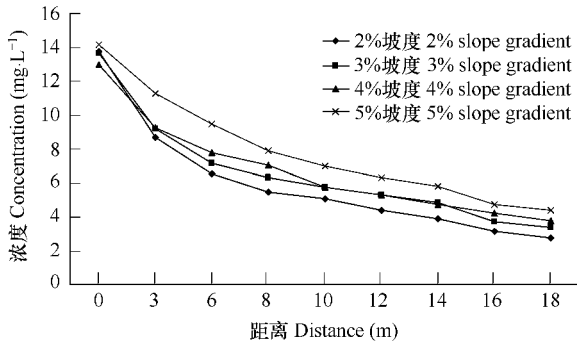


图 4 四种坡度缓冲带渗流 TN 平均浓度沿程变化

Fig. 4 Changes of TN concentration of seepage along the four slope gradient buffer strips

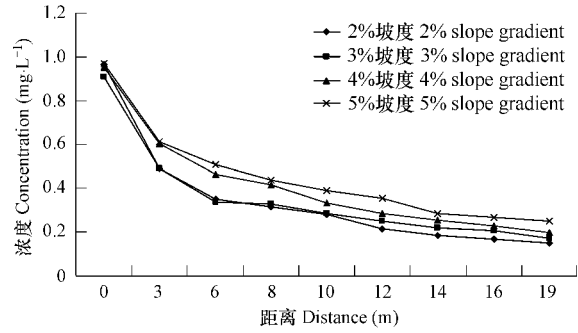


图 5 四种坡度缓冲带渗流 TP 平均浓度沿程变化

Fig. 5 Changes of TP concentration of seepage along the four slope gradient buffer strips

本研究以面源污染控制为目的,针对某一地区降雨量、土壤性质、功能区划要求等变量基本确定的情况,提出以坡度和植被类型为控制变量,根据污染物浓度降解和截留率沿程变化来确定缓冲带最佳宽度的方法。本研究固定植被类型——百慕大,把坡度定为唯一变量,以现场试验 SS 沿程降解率为例,来计算缓冲带最佳宽度。利用 SPSS 统计分析软件,确定 SS 去除率达到 80% 时的距离即为缓冲带最佳宽度(根据水质标准,SS 没有指标类别,不能按照水功能区划要求来定,所以对于 SS 污染因子最佳宽度的确定以截留率来计算),分别对 4 种坡度结构缓冲带径流 SS 截留率和沿程距离进行曲线拟合,发现 SS 的截留率和沿程距离呈现显著对数相关关系,结果见图 6。

对现场试验的 SS 去除率和沿程距离进行拟合,所得的拟合公式见表 1。根据表 1 中的拟合公式,计算出 SS 去除率(y 值)为 80% 时的缓冲带宽度距离(x 值),即为所求不同坡度条件下缓冲带最佳宽度。计算结果显示,在本试验采取的条件下,2% 坡度结构的滨岸缓冲带最佳宽度为 16.1m,而 5% 坡度结构则需 24.7m。

表 1 4 种坡度结构的缓冲带 SS 截留最佳宽度

Table 1 The optimal width for removing SS of 4 gradient buffer strips

坡度 Slope gradient	去除率与沿程距离拟合公式 Fitting formula about removal efficiency and distance	R^2	最佳宽度 Optimal width (m)
2%	$y = 25.159 \ln x + 10.038$	0.904	16.1
3%	$y = 26.096 \ln x + 4.554$	0.917	18.0
4%	$y = 26.397 \ln x + 0.552$	0.893	20.3
5%	$y = 26.215 \ln x - 3.988$	0.920	24.7

y :SS 去除率 SS removal efficiency; x :距离 Distance(m)

3 结论与讨论

坡度作为缓冲带面源污染防治功能强弱的最重要变量,不仅影响着缓冲带对面源污染物质的净化效果,还在缓冲带最佳宽度的确定中扮演着重要角色。

从 SS 试验数据可知,4 种不同坡度缓冲带对面源污染物的净化效果差异非常明显,2% 坡度试验带末端 SS 截留率比 5% 坡度试验带高出 14%。通过相关性分析可知,在 0.99 置信度下坡度与 SS 去除率的相关系数为 0.925,说明两者相关性显著,对两者进行曲线拟合,结果为:

$$E = 0.954e^{-5.395G} \times 100\% \quad (n = 20 \quad R = 0.925)$$

式中, E 为 SS 去除率; G 为坡度; n 为样本数; R^2 为相关系数。

从 TN、TP 试验数据可以看出,在相同条件下,坡度的变化能明显改变缓冲带出水污染物浓度。试验研究还发现,虽然不同坡度条件对缓冲带渗流水出水 TN、TP 影响较大,但都保持着较强的降解能力。究其原因,

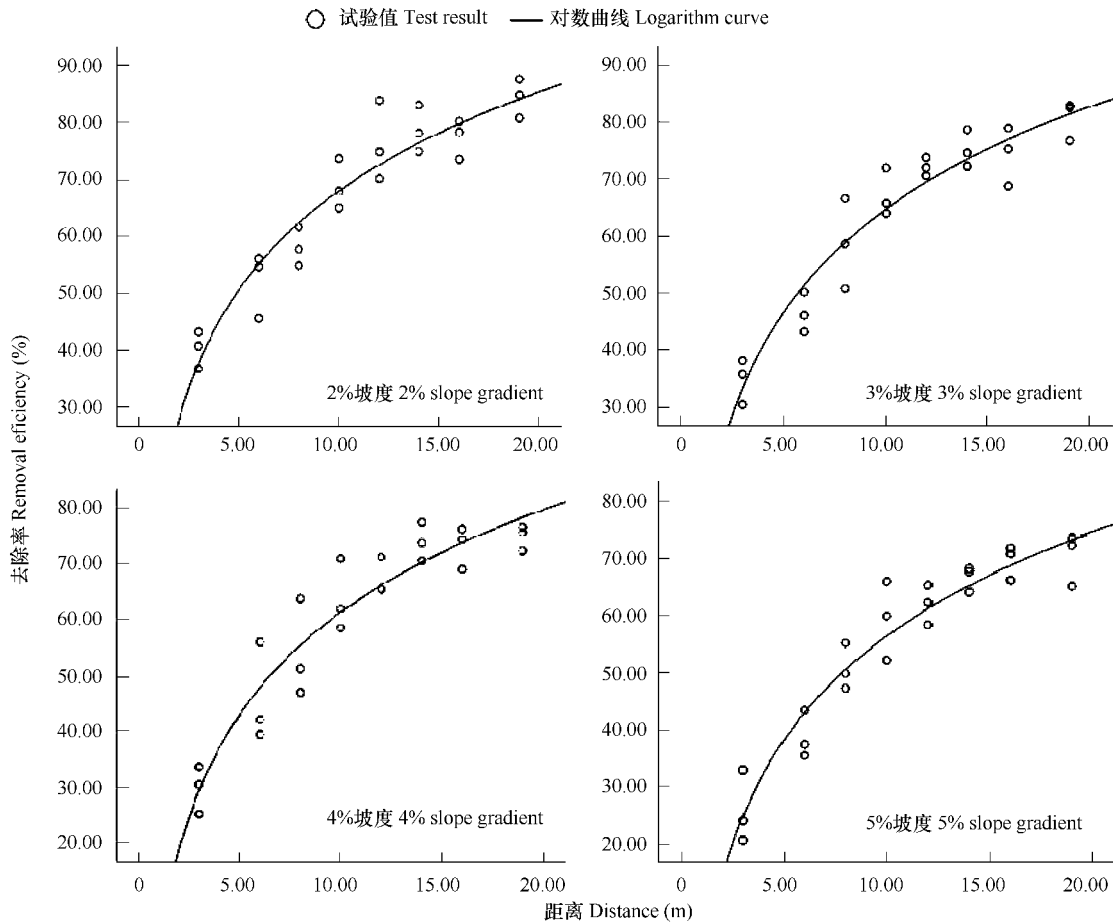


图6 4种坡度缓冲带SS去除率和沿程距离曲线拟合

Fig. 6 Curve fitting chart about SS removal efficiency and width of 4 slope gradient buffer strips

是因为缓冲带本身对污染物质的降解具有多方面的协同作用,主要体现在以下几方面:①通过种植的植被,滞缓径流,截留泥沙,从而降低径流搬运土壤颗粒的能力,致使一部分营养物质随颗粒物被截留;②植物自身直接吸收利用污水和土壤中的无机氮,供其生长发育;③植被的存在,能增加有机物来改善土壤结构,并通过其根系来增加土壤的渗透能力,在渗透过程中,泥沙所挟带的营养物质可以通过土壤剖面从水中过滤出来;④植物通过其发达的根系向土壤中输送出好氧微生物降解有机物所需的氧,从而有效分解有机物质。

对于缓冲带最佳宽度的确定,目前尚没有统一的方法。本文依据现场试验数据,探索性地提出了以上最佳宽度计算方法,根据此方法确定的不同坡度百慕大缓冲带最佳宽度,符合传统报道的缓冲带最佳宽度范围^[10]。不同坡度缓冲带最佳宽度差别显著,2%坡度截留80%的径流SS所需的缓冲带最佳宽度可以比5%坡度节约8.6m,对于土地资源稀缺的上海和全国其他类似地区,有效结合河道两岸现状,尽量构建较小坡度的滨岸缓冲带,对河道生态环境的保护和土地资源的节约都意义重大。上述计算方法,也可以氮、磷为控制目标,结合当地水功能区划要求,来拟合沿程浓度变化和距离之间的关系,以水功能区划要求的水质标准为控制点,计算出所需的缓冲带最佳宽度。

本文试验研究结果都是在选定的上海地区典型降雨期、降雨量和农业面源污染工况条件下得出的,实际条件降雨量变化、季节变化引起的草皮生长变化等情况都会影响缓冲带面源污染的防治效果,从而改变所需缓冲带的宽度。因此,需要开展长期深入的研究,以确定不同条件下的相关结论。

References:

[1] Chen X H, Li X P. The eco-functions of ecological protection techniques of riverbank. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(3): 1168 - 1175.

- [2] Anna L, Bradley L, Ross G. Bat activity on riparian zones and upper slopes in Australian timber production forests and the effectiveness of riparian buffers. *Biological Conservation*, 2006, 129: 207—220.
- [3] Pan X L, Deng W. Advances in Riparian Buffers in Agricultural Catchments. *Journal of Agro-environment Science*, 2003, 22(2): 244—247.
- [4] LU B Q, HUANG S F, TANG H. Progresses of Agricultural Non-Point Source Pollution Control Technology-Riparian Buffer Strips. *Water Resources Protection*, 2007 (Supplement): 7—9.
- [5] ZHANG J C, PENG B Z. Study on riparian zone and there storatoin and rebuilding of its de-graded ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 56—63.
- [6] Pan X L, Deng W. Advances in Riparian Buffers in Agricultural Catchments. *Journal of Agro-environment Science*, 2003, 22(2): 244—247.
- [7] HUANG S F, LU Y T, SHEN G X, *et al.* Nitrogen losses from dry farming fields in Shanghai suburbs. *Rural Eco-environmen*, 2005, 21(2): 50—53.
- [8] HUANG S F, SHEN G X, TANG H, *et al.* Nitrogen losses in paddy fields in Shanghai suburb. *Environmental Pollution & Control*, 2005, 27(9): 651—654.
- [9] SEPA. *Monitoring and Analysis Methods for Water and Wastewater (Third Edition)*. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1989.
- [10] David L C. Principles of planning and establishment of buffer zones. *Ecological Engineering*, 2005, 24: 433—439.
- [11] Lena B M, Gilles P, Ann F, *et al.* Structure and function of buffer strips from a water quality perspective in agriculture landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 1995, 31: 323—331.

参考文献:

- [1] 陈小华, 李小平. 河道生态护坡关键技术及其生态功能. *生态学报*, 2007, 27(3): 1168—1175.
- [4] 卢宝倩, 黄沈发, 唐浩. 滨岸缓冲带农业面源污染控制技术研究进展. *水资源保护*, 2007(增刊): 7—9.
- [5] 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. *生态学报*, 2003, 23(1): 56—63.
- [6] 潘响亮, 邓伟. 农业流域河岸缓冲区研究综述. *农业环境科学学报*, 2003, 22(2): 244—247.
- [7] 黄沈发, 陆贻通, 沈根祥, 等. 上海郊区旱作农田氮素流失研究. *农村生态环境*, 2005, 21(2): 50—53.
- [8] 黄沈发, 沈根祥, 唐浩, 等. 上海郊区稻田氮素流失研究. *环境污染与防治*, 2005, 27(9): 651—654.
- [9] 国家环境保护局编. *水和废水监测分析方法*, 第Ⅲ版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.