

DOI: 10.5846/stxb201812062671

杨雪, 王志勇. 迁安三里河滨水缓冲带的雨水径流及污染物消减效果与设计优化建议. 生态学报, 2019, 39(16): - .

Yang X, Wang Z Y. Effects on rainfall runoff and pollutants reduction and design optimization of riparian buffer of Sanli River in Qian'an. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16): - .

迁安三里河滨水缓冲带的雨水径流及污染物消减效果与设计优化建议

杨 雪¹, 王志勇^{2,3,*}

1 北京大学建筑与景观设计学院, 北京 100871

2 北京大学景观设计学研究院, 北京 100871

3 北京土人城市规划设计股份有限公司, 北京 100080

摘要: 滨水缓冲带在入河雨水径流消减及水质净化方面起着关键作用。以迁安三里河滨水缓冲带为研究对象, 利用 SCS-CN 模型、地表径流人工模拟以及水体样品实地采集等方法, 揭示了缓冲带的雨水径流消减及水质净化效果, 并分析了地表特征对其的影响。主要得到以下结论: (1) 对雨水径流的消减率可超过 80%。前期土壤含水量越低、坡长越长、坡度越小, 消减量越大。灌木比草坪、花卉、铺装的消减量大。(2) 植被带对 TP、TN、NH₃-N、COD 和 SS 的消减率可分别达到 85.35%、13.41%、68.32%、87.76% 和 98.5%。径流时长为 60 min 比 30 min 的水质净化效果好。草坪、花卉、高草、灌木对污染物的消减率高, 砾石的消减率低。坡度从 10° 降低到 5°, 消减率可提升 50% 以上。坡长的增加对净化作用增加不显著。

关键词: 滨水缓冲带; 雨水径流消减; 水质净化; 迁安三里河

Effects on rainfall runoff and pollutants reduction and design optimization of riparian buffer of Sanli River in Qian'an

YANG Xue¹, WANG Zhiyong^{2,3,*}

1 College of Architecture and Landscape Architecture of Peking University, Beijing 100871, China

2 The Graduate School of Landscape Architecture, Peking University, Beijing 100871, China

3 Beijing Turen Urban Planning and Design Company Limited, Beijing 100080, China

Abstract: Riparian buffer has a key function on rainfall runoff reduction and water purification. SCS-CN model, artificial surface runoff modelling, and water sampling were used to reveal the effects on rainfall runoff reduction and water purification of the riparian buffer of Sanli River. Moreover, influence of the surface characteristics were analyzed. The results were as follows: (1) Rainfall runoff could be reduced significantly and the reduction ratio could be more than 80%. Low antecedent soil moisture, long slope length, and low slope gradient could promote the reduction effect. The reduction effect of bush was larger than that of herb, flower, and pavement. (2) The reduction ratio of vegetation on TP, TN, NH₃-N, COD, and SS could be 85.35%, 13.41%, 68.32%, 87.76%, and 98.5%, respectively. In general, the water purification effect of 60 min was better than that of 30 min. Herb, flower, high grass and bush had large reduction ratio, while gravel had small reduction ratio. The reduction ratio could be promoted by over 50%, when the slope gradient was cut down from 10° to 5°. The addition of slope length showed little influence on water purification effect.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51678002); 国家重点研发计划(2016YFC0401108)

收稿日期: 2018-12-06; **网络出版日期:** 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wzy1023@foxmail.com

Key Words: riparian buffer; rainfall runoff reduction; water purification; Sanli River in Qian'an

城市河流在承担着城市行洪排涝和受纳城市退水功能的同时,也面临着工农业和城市生活造成的污染风险^[1-2]。城市河流滨水缓冲带作为河流与周边陆地的过渡交错带,在入河径流消减及水质净化方面起着关键作用,对河流的生态环境有着重要影响^[3]。

滨水缓冲带对径流的截留作用主要来源于植被和植物根系的截留以及土壤的入渗^[4-5]。相对于人工硬化河岸,植物缓冲带可以明显降低流速,减少降雨过程中汇入水体的总水量^[6-7]。缓冲带对水体的净化作用主要体现在其通过过滤、拦截^[8]、植物吸收、土壤吸附^[9]、增强化学反应等实现对泥沙的拦截和 N^[10]、P^[11] 等化学元素的去除。

缓冲带的植被类型、生长状态、坡度、坡长等是影响雨水径流滞蓄能力和生物理化化学环境的重要因素^[12]。植被类型的差异对水质的净化作用差异较大,现有研究结论呈现特异性^[13-14],效果取决于植被的生理特性、生长状态以及配置方式。通常认为缓冲带的坡度越小,初始径流产生时间越长^[15],水质净化效果越好^[16-19]。坡长也能产生重要影响,国外的研究中,滨水缓冲带的坡长通常较长,多数为几十米^[20],甚至超过百米^[21]。而国内的河岸为应对洪水,通常堤防较高,坡度较大,坡长相对较小,尺度为几米^[22]或十几米的较为普遍。因此,在坡长的影响方面,国内外的研究结论不尽相同,尚无统一的认识。

目前,我国正在开展大量的水生态系统修复工程,迁安三里河生态廊道就是将水泥硬化河岸恢复为自然河岸的典型实践,其滨水缓冲带的设计考虑了可持续的雨洪资源管理和水生态效益^[23]。本研究对建成后的滨水缓冲带的雨水径流消减和水质净化效果进行验证与分析,以期对未来城市滨水缓冲带水生态功能的设计与实现提供科学依据。

1 研究区概况

三里河位于迁安市城区东侧,由西向东南流经迁安市城区,全长 16.2 km,流域面积 48.42 km²,多年平均径流量 0.12 亿 m³。三里河是迁安的重要水源地,工业化以前,沿岸芦苇丛生、花草繁盛,是城区的景观胜地。20 世纪 70 年代,工业化和城镇化加速,三里河成为城区工业污水的主要排放通道,水质受到严重污染,鱼虾绝迹,水体污浊且有异味。进入 21 世纪后,经过治理,河水水质有所好转。但仍存在上游来水量减少,河道断流,周边用地被随意侵占等问题。为进一步解决这些问题,迁安市政府于 2007 年开展三里河生态廊道建设,主要包括水源恢复、污水截流、生态重建、城市土地开发等内容。生态廊道建设中对河流滨水缓冲带的设计以自然生态为基础。上游河段基本保持了原有的农林用地。其余河段采用的植被组成基本为当地乡土树种,乔木以杨柳为主,建设区与周边原生的杨柳与针叶植物的混交林地自然过渡。近岸植被以乡土草本为主,主要包括三叶草(*Trifolium repens*)、狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)等^[24-25]。

2 数据与方法

2.1 SCS-CN 模型及汇水区 CN 值计算

SCS-CN 模型(Soil Conservation Service-Curve Number)是美国农业部开发的用来估算地表径流的流域水文模型,其结构简单,能综合反映流域的地理特征,在许多流域得到了广泛应用。该模型综合概括了流域降雨条件、土壤分布、土壤水文组、土地利用类型及与径流量间的关系,详细介绍参见相关研究^[26-27]。

模型通过将流域下垫面因素对降雨-径流的贡献归结为一个无因次的变量 CN 值(径流曲线数, Curve Number),最大限度地减少了产流模型的参数数量,使得模型能在多种下垫面条件下应用。CN 值由土壤类型、土地利用方式、水文条件等条件决定。

2.1.1 汇水区划分

场地内绝大部分园路高于两侧植被带(图 1),因此,本研究中的滨水缓冲带外侧以园路为边界。根据现

场测量的滨水缓冲带的形状、面积、植被情况和坡度等,将缓冲带划分为 22 类,并分别统计其面积(表 1)。

2.1.2 CN 值计算

滨水缓冲带的土壤类型主要为薄层黄土、沙壤土。结合降水前 5 日的降水量总和与植物生长季节两个要素,判定土壤前期含水量等级。在此基础上,通过美国国家工程手册列出的 CN 值查算表得到滨水缓冲带各分区的 CN 值^[28](表 1)。考虑到坡度对产流的影响,根据坡度对 CN 值进行修正^[29](表 1)。

2.2 滨水缓冲带径流人工模拟

三里河位于我国北方典型季风气候区,大型降水基本集中在夏季,非集中降雨时径流量极小。为研究不同地表特征的滨水缓冲带的净化效果的差异,在几种典型断面上进行人工径流模拟。根据滨水缓冲带在植被、坡长、坡度上的差异,选择了 5 个典型场地(图 2,表 2)。实验用水为场地内自来水,经过缓冲带外围道路后流入缓冲带。放水装置为 50 L 水箱与橡胶软管。每 3 组水箱为 1 组,同时开始放水并计时,放水过程中保持水压基本稳定。在场地选取断面定点位置埋入容量为 800 mL 的量杯,用于收集地表径流。

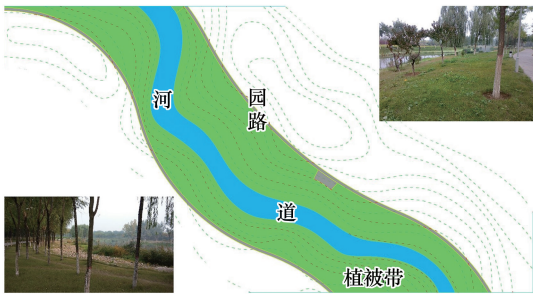


图 1 缓冲带概况
Fig.1 General status of the riparian buffer

表 1 各汇水区 CN 值
Table 1 CN value of the watershed

序号 Code number	土地利用类型 Landuse type	植被覆盖度 Coverage/%	坡度 Slope/(°)	坡度 Slope/%	个数 Number	面积和 Sum of area/hm ²	坡度修正后 CN 值 Modified CN by slope gradient		
							干旱 Dry	均等湿润 Normal	湿润 Wet
1	草本为主	>80	5	0.087	9	1.738	41	61	78
2			10	0.176	8	1.662	41	61	78
3			15	0.268	13	1.834	41	62	79
4			20	0.364	6	0.851	42	62	79
5			25	0.466	3	0.188	42	62	79
6	花卉	50-80	5	0.087	1	0.182	50	69	84
7		<50	10	0.176	1	0.321	62	79	92
8			5	0.087	2	0.48	41	61	78
9			10	0.176	7	1.183	41	61	78
10			20	0.364	3	0.545	42	62	79
11			25	0.466	1	0.106	42	62	79
12		50-80	10	0.176	1	0.061	50	69	84
13			20	0.364	1	0.034	51	70	85
14			30	0.577	1	0.062	51	71	86
15			15	0.268	1	0.084	63	80	92
16	灌木为主	>80	5	0.087	3	1.054	15	30	50
17			10	0.176	3	0.518	15	30	50
18			15	0.268	2	0.272	15	30	50
19			20	0.364	2	0.759	15	30	51
20			25	0.466	1	0.126	15	31	51
21	铺装为主		10	0.176	1	0.086	95	99	100
22			30	0.577	1	0.044	96	100	100

CN: 径流曲线数 Curve numbers

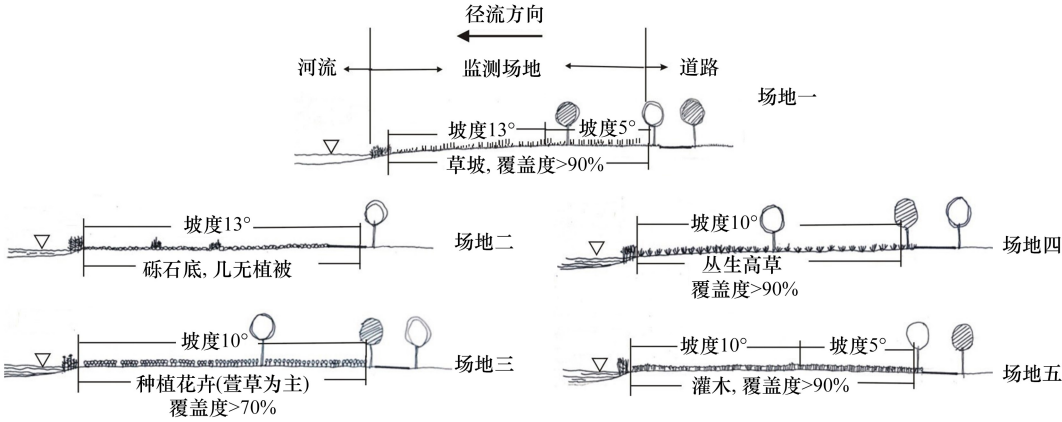


图 2 滨水缓冲带径流人工模拟场地

Fig.2 The modelling sites of riparian buffer runoff

表 2 径流人工模拟实验场地特征

Table 2 Characteristics of the experiment sites

场地 Site	植被类型 Vegetation type	平均覆盖度 Mean coverage	坡度 Slope gradient/°		坡长 Slope length/m	
			上部 Upper part	下部 Lower part	上部 Upper part	下部 Lower part
一 First	草坪	>90%	5	13	5	5
二 Second	砾石	—	13	13	10	10
三 Third	花卉	70%	10	10	10	10
四 Fourth	高草	>90%	10	10	10	10
五 Fifth	灌木	>90%	5	10	5	5

2.3 水样品采集及水质监测

为研究滨水缓冲带对入河水体的净化效果,在典型断面,分别对自然降雨径流过程和人工模拟径流过程中的地表径流进行样品采集并进行水质检测。水质检测委托中国环境科学院完成,检测指标为总氮(Total nitrogen, TN)、总磷(Total phosphorus, TP)、氨氮(Ammonia nitrogen, NH₃-N)、化学需氧量(Chemical oxygen demand, COD)、悬浮物总量(Suspended Solids, SS)。

自然降雨径流过程的样品采集断面为 4 个。断面 1 的地表覆被组成为道路-疏草草地-园路-草坡-坑塘,样品采集点为 4 个,分别为道路、园路、草坡中部、坑塘入口,样品采集 1 次。断面 2 为雨水干管出口以下,样品采集点为 3 个,样品采集 2 次,时间间隔为 1 h。断面 3 的地表覆被组成为道路-草坪-草坪中洼地,样品采集点为 3 个,样品采集 2 次,时间间隔为 1 h。断面 4 的地表覆被组成为公园非正式出口-道路-道路旁洼地,样品采集点为 3 个,样品采集 2 次。样品采集时间为 2014 年 9 月 1 日。

人工模拟径流的样品采集场地为 5 个(表 2),每个场地包括样品采集断面 3 个。在坡长为 5 m,坡度为 10°的场地,坡面中点和坡底各设置 1 个样品采集点,同一点采集样品 2 次,时间间隔为 30 min。在植被类型分别为草地、灌木,坡长为 5 m,坡度分别为 5°、13°(和 10°)的场地,各设置 1 个样品采集点,各点采集样品 1 次。在植被类型分别为草坪、花卉、灌木,坡长分别为 5 m、10 m 的场地,各设置 1 个样品采集点,各点采集样品 1 次。

3 结果与讨论

3.1 滨水缓冲带雨水径流消减效果

利用 SCS-CN 模型对 2000—2013 年间最大单日降雨的径流消减效果进行模拟(表 3)。发现 14 年中的日最大降雨量差异较大,与消减率之间没有显著的相关关系。14 年中有 9 年的雨水径流消减率超过了 80%,其

前期土壤含水量都较低。雨水径流消减率低于 70% 的 3 个年份,其前期土壤含水量都较大。前期土壤含水量越低,雨水径流的消减率越高,表明场地的前期土壤含水量对雨水径流的消减效果影响显著。灌木缓冲带的径流消减效果明显优于其他植被类型,且覆盖度越高,径流消减效果越好。缓冲带的坡长越大,面积则越大,雨水径流的消减率越高。缓冲带的坡度范围在 5°—30°之间,在此范围内,坡度越小,径流消减总量越大。

表 3 2000—2013 年最大降雨日雨水径流消减率
Table 3 Rainfall runoff reduction ratio of the day with the maximum precipitation from 2000—2013

年份 Year	最大降水日 Day with the largest precipitation	降水量/mm Precipitation		土壤前期 湿度等级 Antecedent soil moisture	总降水量 Total precipitation/m ³	总径流量 Total runoff/m ³	径流系数 Runoff coefficient	雨水径流消减率 Reduction ratio
		日最大 Maximum precipitation in one day	前五日 The last 5 days					
2000	8 月 30 日	75.2	0.3	干旱	10779.17	1617	0.15	0.85
2001	6 月 28 日	17.8	0	干旱	2551.5	285.2	0.11	0.89
2002	7 月 20 日	33.2	38.3	均等湿润	4758.9	651.1	0.14	0.86
2003	7 月 27 日	111.1	8.5	干旱	15925.1	2857.7	0.18	0.82
2004	7 月 29 日	100.8	47.9	均等湿润	14448.7	4200.5	0.29	0.71
2005	5 月 17 日	95.3	44.4	均等湿润	13660.3	3813.5	0.28	0.72
2006	8 月 26 日	104.5	0	干旱	14979	2588.3	0.17	0.83
2007	8 月 7 日	95.1	0	干旱	13631.6	2235	0.16	0.84
2008	7 月 15 日	121.2	0	干旱	16919.2	3225.6	0.19	0.81
2009	7 月 17 日	51.6	10	干旱	7396.3	1043.9	0.14	0.86
2010	7 月 20 日	57.8	73.5	湿润	8285.1	2827.5	0.34	0.66
2011	7 月 25 日	88.3	62.9	湿润	12656.9	5659.5	0.45	0.55
2012	8 月 4 日	188	145.7	湿润	26947.9	17139	00.64	0.36
2013	8 月 8 日	60	6.2	干旱	8600.4	1243.4	0.14	0.86

3.2 滨水缓冲带的雨水水质净化效果

断面 1 的 TP 和 NH₃-N 的浓度先增大后减小,TN、COD、SS 的浓度持续减小。TP 和 NH₃-N 的浓度从样点 1 到样点 2 的增加可能由雨水冲刷道路引起,样点 2 到样点 4 浓度显著下降,则可能与草地的净化作用有关。断面 2 的 TP、TN、COD 的浓度先增大后减小,NH₃-N 和 SS 的浓度持续减小。断面 2 后半段污染物浓度的减小与植物的净化作用有关。断面 3 的污染物浓度变化较小或者都显著增大,可能与污染物集中富集到洼地有关。断面 4 的 TP、COD 浓度持续减小,NH₃-N 浓度持续增加,TN 和 SS 的浓度先减小后增大。断面 4 以道路为主,没有植被覆盖,样点 2 处 SS 显著减小,表明园区道路能对园区外的颗粒物产生拦截作用(图 3)。

植被带的存在对雨水的水质能起到一定的净化作用,受园区道路影响初期径流容易含有大量 SS,经过植被带的净化后浓度会显著下降,消减率可达到 98%。最典型的断面 1,雨水先经过道路后又经过植被带,5 种污染物的浓度均得到了显著的净化,TP、TN、NH₃-N、COD、SS 的消减率分别为 85.35%、13.41%、68.32%、87.76%、98.5%。该结果与相关研究的缓冲带可截留 3%—50% 的 TN、65%—95% 的 TP 相似^[18]。

3.3 不同地表特征对地表径流水质净化效果的影响机制

3.3.1 径流时长

在 5 种植被类型、坡度为 10°、坡长为 5 m 的缓冲带上采集人工模拟的地表径流,并对同一样品采集点的两个时间点的污染物浓度与水体的初始浓度进行对比(图 4)。发现径流时长为 60 min,除花卉对 COD 和灌木对 SS 外,各场地均能使污染物浓度得到消减。径流时长为 30 min,除砾石和花卉对 TP、高草对 TN、花卉对 NH₃-N、高草对 SS 外,各场地均能使污染物浓度得到消减。

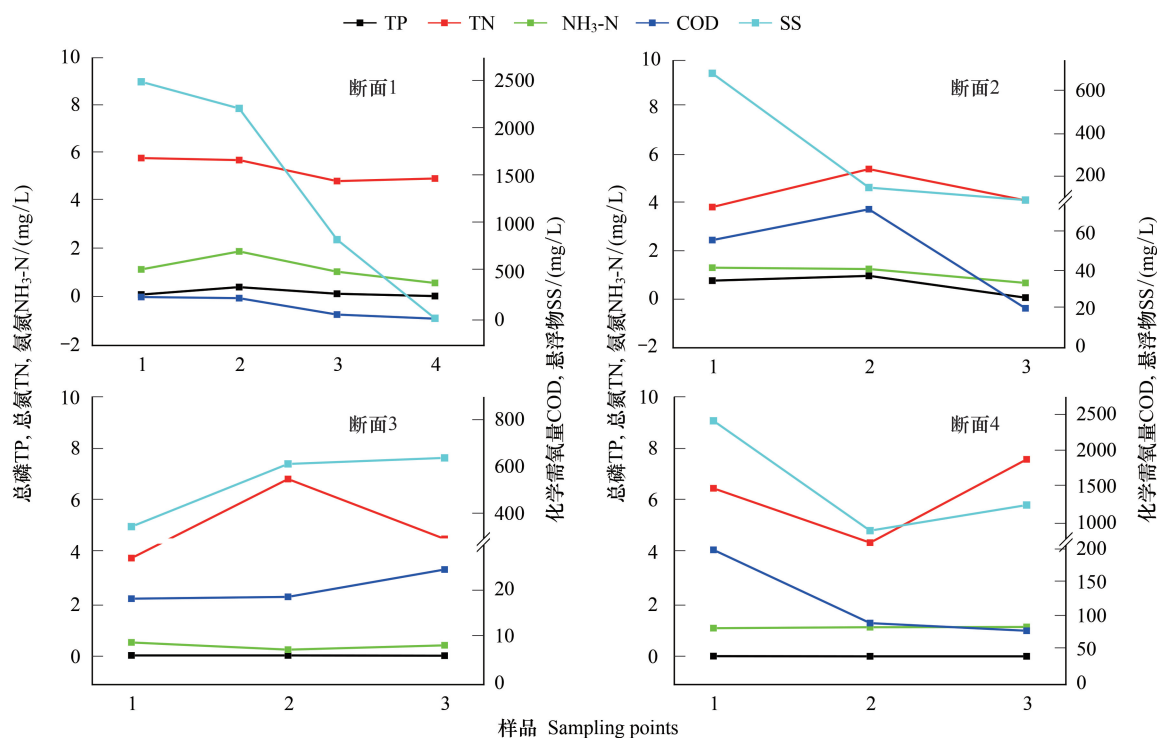


图3 雨水径流中污染物浓度在各断面的变化

Fig.3 Pollutants concentration change at the interfaces in the runoff

TP: 总磷 Total phosphorus; TN: 总氮 Total nitrogen; NH₃-N: 氨氮 Ammonia nitrogen; COD: 化学需氧量 Chemical oxygen demand; SS: 悬浮物 Suspended Solids

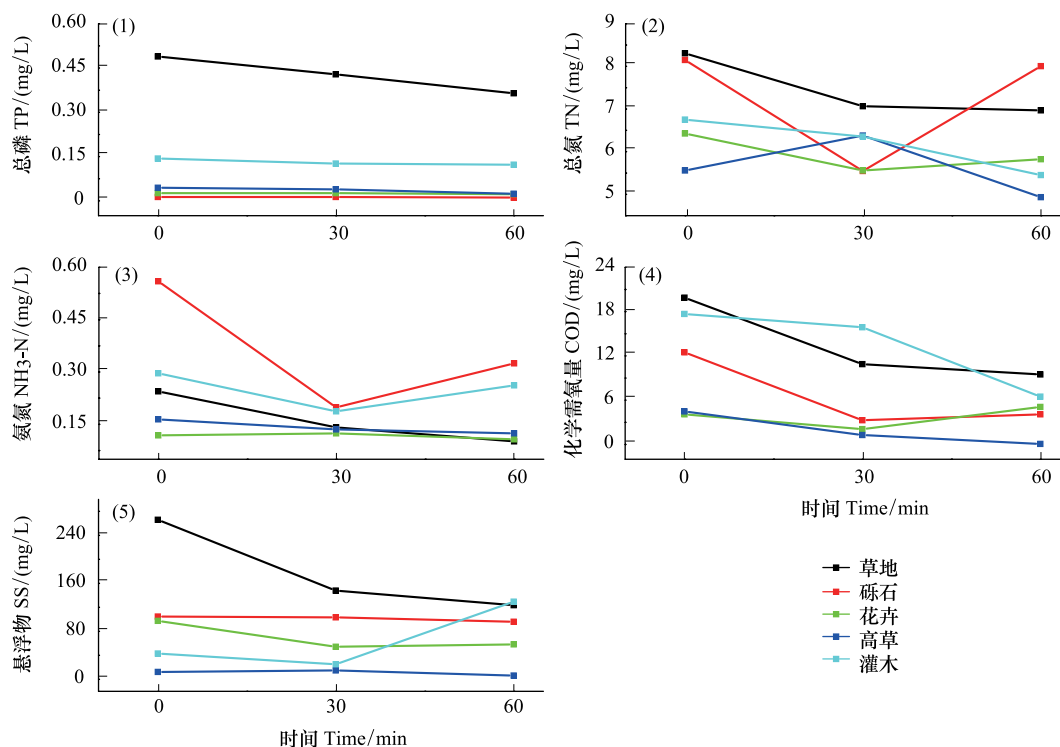


图4 人工径流中污染物浓度随时间的变化

Fig.4 Pollutants concentration change following the change of time

不同径流时长对污染物的消减率受植被类型的影响较大。各场地对 TP 在 60 min 内的消减率均大于在 30 min 内的消减率。草坪和灌木对 TN 在 60 min 内的消减率均大于在 30 min 内的消减率。砾石和花卉对 TN 在 60 min 内的消减率均小于在 30 min 内的消减率。30 min 内,高草使得 TN 的浓度增加,60 min 内则能产生消减。草坪和高草对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在 60 min 内的消减率均大于在 30 min 内的消减率。砾石和灌木对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在 60 min 内的消减率均小于在 30 min 内的消减率。30 min 内,花卉使得 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度增加,60 min 内则能产生消减。草坪、高草和灌木对 COD 在 60 min 内的消减率均大于在 30 min 内的消减率。砾石对 COD 在 60 min 内的消减率小于在 30 min 内的消减率。30 min 内,花卉能消减 COD,60 min 内则使得 COD 的浓度增加。草坪和砾石对 SS 在 60 min 内的消减率均大于在 30 min 内的消减率。花卉对 SS 在 60 min 内的消减率则小于在 30 min 内的消减率。30 min 内,高草使得 SS 的浓度增加,60 min 内则能产生消减。30 min 内,灌木能消减 SS,60 min 内则使得 SS 浓度增加。

3.3.2 植被类型

在 5 种植被类型、坡度为 10° 、坡长为 5 m 的缓冲带的中点和坡底各采集两次水样,对坡面中的第一次水样和坡底第二次水样的污染物浓度进行对比(图 5)。发现除砾石外,其他植被类型均对 TP 有消减作用。各植被类型均对 TN 有消减作用,坡中 TN 的浓度较相近,经过坡面后,草坪和灌木对 TN 的消减作用较强,消减率分别为 45.21%和 27.12%。砾石对 TN 的消减作用最小,消减率仅为 1.71%。各植被类型均对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有消减作用。草坪、花卉和灌木在坡中位置 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度相接近,3 种植被对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的消减率均较高,其中花卉的消减率达到了 63.72%。各植被类型均对 COD 有消减作用,草坪、砾石和灌木在坡中位置的 COD 浓度相接近,草坪和灌木的消减率较大,分别为 55.8%和 57.03%,砾石的消减作用较小,消减率为 12.99%。花卉和高草在坡中位置的 COD 浓度相接近,其消减率相近但均较小。除砾石外,其他植被类型均对 SS 有消减作用。

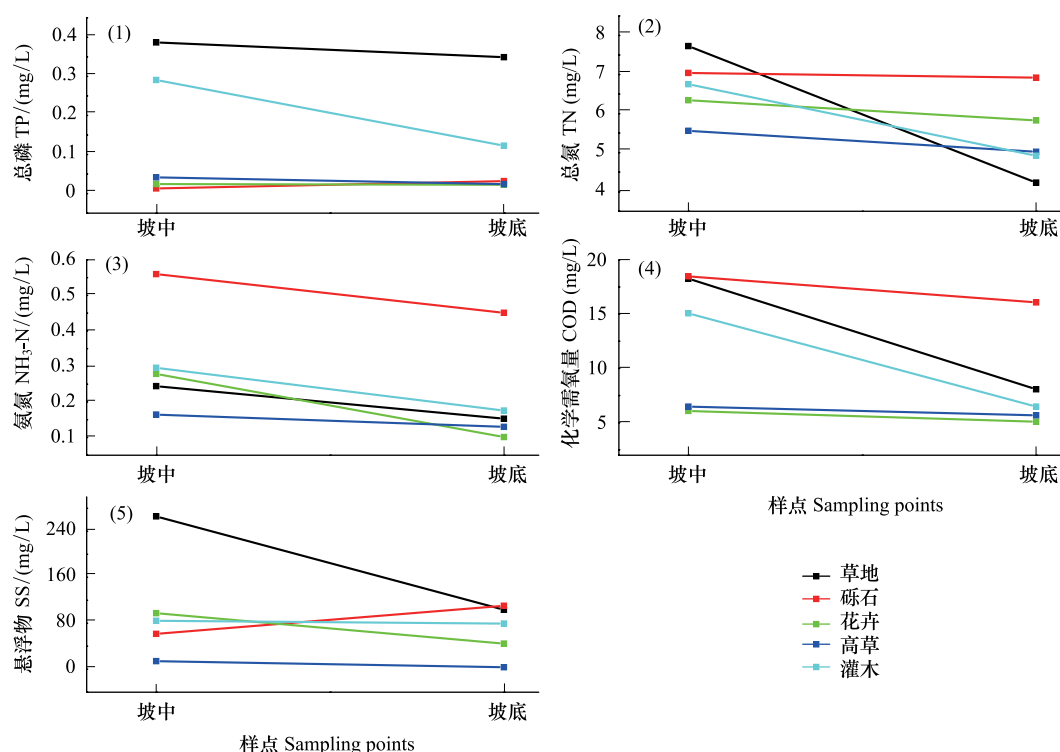


图 5 不同植被类型场地中污染物浓度的变化

Fig.5 Pollutants concentration change at the different plant sites

不同植被对不同污染物的消减作用差异较大。草坪对 TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD 的消减率较高,花卉对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD 的消减率较高,高草对 TP、SS 的消减率较高,灌木除对 SS 的消减率较低外,对其他污染物的消减率较

高,砾石的消减作用最弱,且会使得 TP、SS 的浓度增加。总体上,可以认为,植被组成越复杂,对污染物的消减效果越好,这与有关研究表明,森林、草地缓冲带能有效截留 N、P,并且森林、草地的复合林截留效果更好相似^[30-32]。

3.3.3 坡度

在草坪和灌木两种植被类型、宽度均为 5 m,坡度分别为 5°和 10°的场地上,采集地表径流样品,并对比 5°坡和 10°坡位置的污染物浓度值(图 6)。在草坪场地中,5°坡对 TP、TN、NH₃-N、COD 均有消减作用,10°坡除 TP 外,对其他污染物均有消减作用。5°坡对 TN 和 NH₃-N 的消减率均大于 10°坡的消减率,5°坡对 COD 的消减率小于 10°坡的消减率。在灌木场地中,5°坡除 COD 外,对 TP、TN、NH₃-N 均有消减作用,10°坡对 4 种污染物均消减作用。5°坡对 TP、TN、NH₃-N 的消减率均大于 10°坡的消减率。

坡度越小,对污染物的消减作用越大。这是因为缓冲带坡度越小,地表径流流速降低,流经缓冲带的时间越长,污染物截留和降解效率也越高^[33-34]。坡度从 10°降低到 5°,消减率提升了 50% 以上。以往也有研究表明,当坡度从 5°下降到 2°后,缓冲带对 TP、TN、SS 的消减率可以提升 15%^[19]。

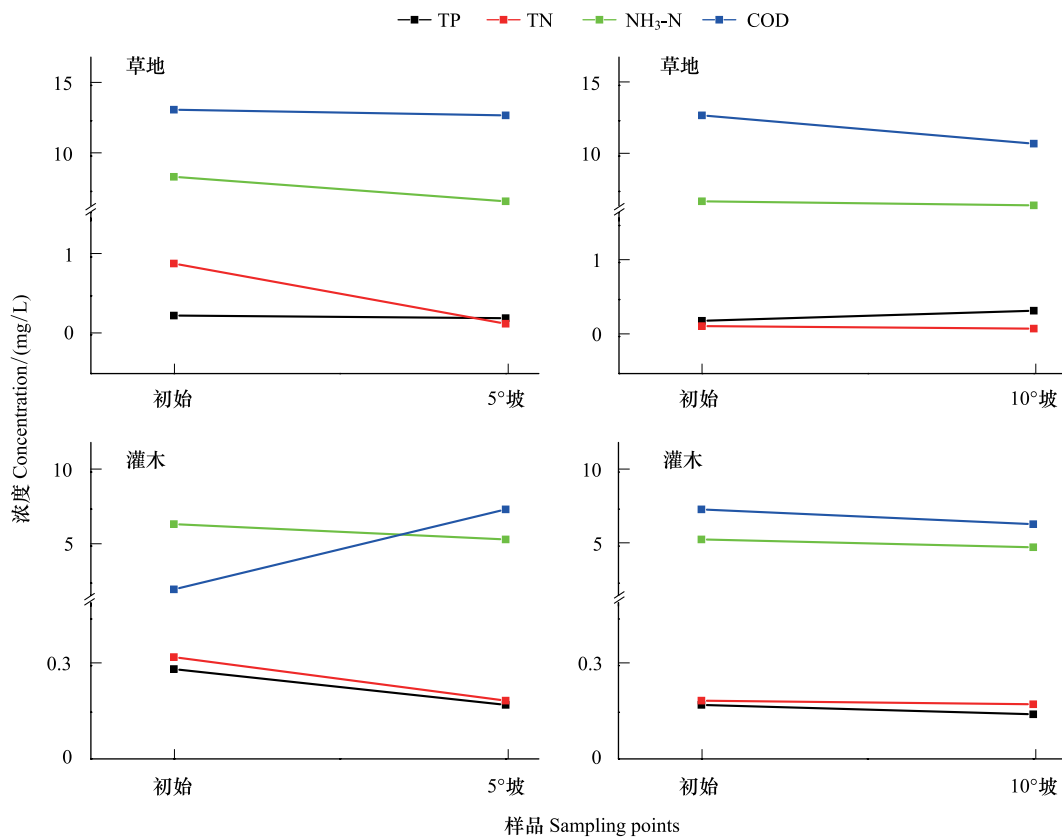


图 6 不同坡度场地中污染物浓度的变化

Fig.6 Pollutants concentration change at different slope sites

3.3.4 坡长

在草坪、花卉、灌木 3 种植被类型的场地中,分别在 5 m 和 10 m 坡长的位置采集地表径流样品,并对比各污染物的浓度值(图 7)。在草坪场地中,10 m 坡长对 TN、NH₃-N 和 COD 的消减率比 5 m 坡长的消减率稍大。在花卉场地中,10 m 坡长对 TN 和 NH₃-N 的消减率比 5 m 坡长的消减率稍大,10 m 坡长对 COD 的消减率比 5 m 坡长的消减率小,两种坡长下,COD 的浓度都变大。在灌木场地中,10 m 坡长对 TN 和 NH₃-N 的消减率比 5 m 坡长的消减率稍大,两种坡长下,COD 的浓度都变大。

3 种植被类型的场地中,10 m 坡长对污染物消减率与 5 m 坡长的消减率相接近,坡长的增加对地表径流

的净化作用增加不显著。其他相关研究也表明,9.1 m 的坡长对 TN、TP、SS 的消减率仅比 4.6 m 的坡长的消减率高 10%—20% 左右^[35]。这可能与本研究的缓冲带坡长较小有关,CRJC^[36] (Connecticut River Joint Commissions) 的公告表明截留 N 需要缓冲带的坡长为 45—150 m,同时,Chang 等^[37] 对受富营养化威胁的翡翠水库滨水缓冲带的研究发现,坡长为 30 m 时去除 P 的效益最好。

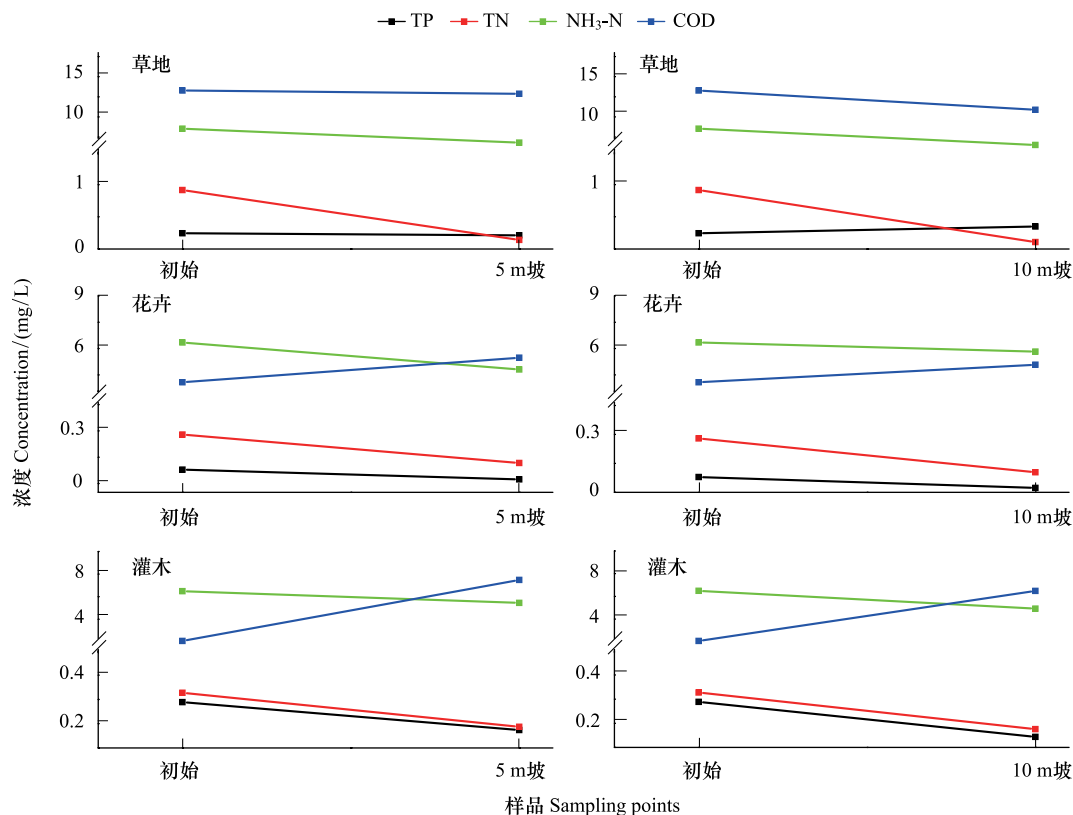


图 7 不同坡长场地中的污染物浓度变化

Fig.7 Pollutants concentration change at different slope length sites

4 滨水缓冲带设计优化建议

4.1 形态设计

条件相似的河段在滨水缓冲带设计中可以选择将宽度控制在 5 m 以上,以 5—20 m 为主体。最理想的坡度应该是 5° 及以下,5°—30° 的效果也尚可,超过 30° 则雨水径流减控和水质净化的效果都会明显下降。实际设计中,在尊重原有河流和周边高差的情况下,可以尽量减小坡度。不同形态特征的缓冲带在组合上应该保持河岸的自然凹凸,一方面可以保证缓冲带与河流的相互作用,维持河流的自我调节功能,另一方面能提供城市公园所需的视觉和活动上的多样性。

4.2 植被选择

草地可以作为缓冲带的主体植物,但一般草坪维护成本高(表 4),可以选择能达到较高覆盖度,视觉效果比较低矮整齐的乡土草本作为草地主要植物物种。灌木和高草草丛可以作为辅助的主要植被类型,种植形式上不应太过杂乱。不需要精心培育养护的有花灌木可以提升使用者的好感。观赏性花卉,尤其是限制种植密度的观赏性花卉尽量少用在滨河缓冲带内。能够达到较高地表覆盖度(应大于 90%)且不需要大量维护的草本花卉不在此列,可以作为主体草地的组成植被。砾石河岸非必要尽量不采用,以植被缓冲带作为河岸的主体构成。

表 4 不同缓冲带地面覆盖的优劣性比较

Table 4 Compare of superior and inferior among different plant covers

植被类型 Vegetation type	雨水径流减控效果 Rainfall-flood control effect	水质净化效果 Water purification effect	使用者喜好 Favor of the users	维护成本 Maintenance cost
草地 Grass	好	很好	喜欢	中
观赏花卉 Flower	一般	差	很喜欢	高
灌木 Bush	很好	一般	不喜欢	低
高草草丛 Top grass	好	好	不喜欢	低
砾石 Gravel	很差	很差	一般	低

5 结论

利用 SCS-CN 地表径流估算模型、地表径流人工模拟以及水体样品实地采集等方法,揭示了迁安三里河缓冲带的雨水消减及水质净化效果,并分析了地表特征对其的影响。主要得到以下结论:

(1) 滨水缓冲带对雨水径流量有很好的消减作用。14 个模拟年份中,9 个土壤前期含水量较低的年份,其径流消减率能超过 80%。前期土壤含水量、植被类型、坡长对径流消减作用显著,前期土壤含水量越低、坡长越长,径流消减量越大。灌木比草坪、花卉、铺装的径流消减量。5°—30°的范围内,坡度越小,径流消减总量越大。

(2) 植被的存在对雨水的水质能起到一定的净化作用,植被带对 TP、TN、NH₃-N、COD 和 SS 的消减率可分别达到 85.35%、13.41%、68.32%、87.76% 和 98.5%。

(3) 不同径流时长对污染物的消减率受植被类型的影响较大。径流时长为 60 min,除花卉对 COD 和灌木对 SS 外,各场地均能使污染物浓度得到消减。径流时长为 30 min,除砾石和花卉对 TP、高草对 TN、花卉对 NH₃-N、高草对 SS 外,各场地均能使污染物浓度得到消减。

(4) 不同植被对不同污染物的消减作用差异较大。草坪、花卉、高草、灌木对污染物的消减率高,砾石的消减率低。

(5) 坡度越小,对污染物的消减作用越大。坡度从 10°降低到 5°,消减率可提升 50% 以上。坡长的增加对地表径流的净化作用增加不显著。

参考文献 (References):

- [1] 王通. 城市规划视角下的中国城市雨水内涝问题研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [2] 王源意, 卢晗, 李薇. 城市景观河流水质污染防治进展研究. 环境科学与管理, 2016, 41(6): 86-91.
- [3] 曾立雄, 黄志霖, 肖文发, 黄静品, 潘磊. 河岸植被缓冲带的功能及其设计与管理. 林业科学, 2010, 46(2): 128-133.
- [4] Lowrance R, Leonard R, Sheridan J. Managing riparian ecosystems to control nonpoint pollution. Journal of Soil and Water Conservation, 1985, 40(1): 87-91.
- [5] 程昌锦, 丁霞, 胡璇, 郭雯, 张建, 雷刚, 漆良华. 滨水植被缓冲带水质净化研究. 世界林业研究, 2018, 31(4): 13-17.
- [6] 沃夫冈·F·盖格. 海绵城市和低影响开发技术——愿景与传统. 陈立欣, 张保利, 刘姝, 田乐, 译. 景观设计学, 2015, 3(2): 10-21.
- [7] 俞孔坚. 生态修复: 一场改善中国城市 and 实现美丽中国梦的“运动”. 萨拉·雅各布斯, 张健, 译. 景观设计学, 2017, 5(5): 6-9.
- [8] 郭彬, 汤兰, 唐莉华, 何威威. 滨水缓冲带截留污染物机理和效果的研究进展. 水土保持研究, 2010, 17(6): 257-262, 274-274.
- [9] Mander Ü, Kuusemets V, Lohmus K, Mäuring T. Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. Ecological Engineering, 1997, 8(4): 299-324.
- [10] 梁菊, 蔡绪怡, 叶春, 李春华, 候立柱, 吕美婷. 滨水植被缓冲带对非点源氮素的削减//. 2015 年中国环境科学学会学术年会论文集(第二卷). 深圳: 中国环境科学学会, 2015: 6.
- [11] Mander Ü, Hayakawa Y, Kuusemets V. Purification processes, ecological functions, planning and design of riparian buffer zones in agricultural watersheds. Ecological engineering, 2005, 24(5): 421-432.
- [12] 左俊杰, 蔡永立. 河岸植被缓冲带定量规划的理论、方法与实证研究. 北京: 化学工业出版社, 2013: 113-124.

- [13] Lyons J, Thimble S W, Paine L K. Grass versus trees; managing riparian areas to benefit streams of central North America. *Journal of the American Water Resources Association*, 2000, 36(4): 919-930.
- [14] 姚立海. 河岸缓冲带植被不同配置对污染负荷削减的研究. *吉林林业科技*, 2013, 42(3): 16-20.
- [15] 吴建强, 王敏, 唐浩, 吴健, 沙晨燕. 水力停留时间变化对两种人工湿地净化效果的影响//2011 中国环境科学学会学术年会论文集(第一卷). 乌鲁木齐: 中国环境科学学会, 2011: 7.
- [16] Peterjohn W T, Correll D L. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 1984, 65(5): 1466-1475.
- [17] 李世锋. 关于河岸缓冲带拦截泥沙和养分效果的研究. *水土保持科技情报*, 2003, (6): 41-43.
- [18] 罗晓娟, 余勇利. 植被缓冲带结构与功能对水质的影响. *水土保持应用技术*, 2006, (4): 1-3.
- [19] 王敏, 吴建强, 黄沈发, 吴健. 不同坡度缓冲带径流污染净化效果及其最佳宽度. *生态学报*, 2008, 28(10): 4951-4956.
- [20] Dhondt K, Boeckx P, Verhoest N E C, Hofman G, Van Cleemput O. Assessment of temporal and spatial variation of nitrate removal in riparian zones. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, 116(1/3): 197-215.
- [21] Nava-López M Z, Diemont S A W, Hall M, Ávila-Akerberg V. Riparian buffer zone and whole watershed influences on river water quality: implications for ecosystem services near megacities. *Environmental Processes*, 2016, 3(2): 277-305.
- [22] 秦东旭, 吴耕华, 刘煜, 陈鹏, 李益, 刘瑛. 不同类型河岸缓冲带水质净化效果研究. *水土保持应用技术*, 2017, (4): 1-3.
- [23] 李峤. 基于低影响开发的滨河缓冲带景观设计研究[D]. 北京: 北京农学院, 2017.
- [24] 俞孔坚. 生态水岸与人工自然重塑——河北迁安三里河生态廊道. *中华民居*, 2011, (10): 29-31.
- [25] 土人景观, 吴洁琳. 母亲河的修复——三里河生态廊道, 迁安, 河北, 中国. *世界建筑*, 2012, (6): 54-57.
- [26] 王瑾杰, 丁建丽, 张成. 普适降雨-径流模型 SCS-CN 的研究进展. *中国农村水利水电*, 2015, (11): 43-47, 54-54.
- [27] Yao L, Wei W, Yu Y, Xiao J, Chen L D. Rainfall-runoff risk characteristics of urban function zones in Beijing using the SCS-CN model. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(5): 656-668.
- [28] USDA NRCS. National Engineering Handbook, Title 210-VI. Part 630, Chapter 9, Hydrologic Soil-Cover Complexes. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 2004.
- [29] 王红雷, 王秀茹, 王希. 利用 SCS-CN 方法估算流域可收集雨水资源量. *农业工程学报*, 2012, 28(12): 86-91.
- [30] Osborne L L, Kovacic D A. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *Freshwater Biology*, 1993, 29(2): 243-258.
- [31] Dabney L D. Depositional patterns of sediment trapped by grass filter strips during simulated. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1995, 38(6): 1719-1729.
- [32] Hefting M M, Clement J C, Bienkowski P, Dowrick D, Guenat C, Butturini A, Topa S, Pinay G, Verhoeven J T A. The role of vegetation and litter in the nitrogen dynamics of riparian buffer zones in Europe. *Ecological Engineering*, 2005, 24(5): 465-482.
- [33] 潘成忠, 上官周平. 不同坡度草地含沙水流力学特性及其拦沙机理. *水科学进展*, 2007, 18(4): 490-495.
- [34] 吴建强. 不同坡度缓冲带滞缓径流及污染物去除定量化. *水科学进展*, 2011, 22(1): 112-117.
- [35] Dillaha T A, Sherrard J H, Lee D, Mostaghimi S, Shanholtz V O. Evaluation of vegetative filter strips as a best management practice for feed lots. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 1988, 60(7): 1231-1238.
- [36] CRJC. Buffer for agriculture. [2017-12-14]. <http://www.crjc.org/buffers>.
- [37] Chang C L, Hsu T H, Wang Y J, Lin J Y, Yu S L. Planning for Implementation of Riparian Buffers in the Feitsui Reservoir Watershed. *Water Resources Management*, 2010, 24(10): 2339-2352.