



文章栏目：河流生态缓冲带保护修复专题

DOI 10.12030/j.cjee.202103180 中图分类号 X522 文献标识码 A

张静慧, 袁鹏, 刘瑞霞, 等. 基于 VFSMOD 模型的河岸植被缓冲带划定方法[J]. 环境工程学报, 2022, 16(1): 40-46. [ZHANG Jinghui, YUAN Peng, LIU Ruixia, et al. Demarcation method of riparian vegetation buffer zone based on VFSMOD model[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(1): 40-46.]

基于 VFSMOD 模型的河岸植被缓冲带划定方法

张静慧¹, 袁鹏¹, 刘瑞霞¹, 孙菲¹, 李晓洁¹, 郝润昕^{1,2}, 高红杰^{1,✉}

1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 北京交通大学土木建筑工程学院, 北京 100044

摘要 河岸植被缓冲带的划定是河流生态缓冲带建设和管理的基础。从面源污染阻控角度出发, 根据河岸的土地利用类型, 将各河流所处河段划分为堤防型河段、城镇型河段、农田型河段、村落型河段和林草型河段。采用植被过滤带模型(VFSMOD), 并结合现有生态红线、河湖管理范围、城市蓝线等空间管控要求, 提出了各类型缓冲带的划定方法, 以期为我国河岸植被缓冲带的划定工作提供参考。

关键词 河流; 河岸植被缓冲带; 划定方法

河流生态缓冲带(后简称“缓冲带”)是河流生态系统的重要组成部分。河岸植被缓冲带(后简称“植被缓冲带”)范围划定是其建设和管理的基础。国内外学者已从不同角度提出了多种植被缓冲带的宽度划定方法。经验值法(固定宽度法)是较早界定植被缓冲带宽度的方法。以保护水质为目的, DOSSKEY 等^[1]采用经验值法为美国某小尺度河流划定了宽度为 9~35 m 的植被缓冲带。数学模型法是最常用的植被缓冲带宽度划定方法, 包括单因子、多因子回归模型法、基于 GIS 的数学模型法, 以及河岸生态系统管理模型(riparian ecosystem management model, REMM)、农田管理系统化合物径流及侵蚀模型(the chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems, CREAMS)、植被过滤带模型(the vegetative filter strip model, VFSMOD)等为复杂机理模型法^[2-8]。2008 年, 美国农业部发布了《保护缓冲带: 缓冲带、廊道和绿色通道设计指南》, 根据不同区域的各参数特征, 应用植被过滤带模型(vegetative filter strips model, VFSMOD)估算了植被缓冲带所需要的宽度, 并提供了基于不同功能考虑的植被缓冲带建议宽度^[9]。由于各项管理规定的差异, 国外的植被缓冲带宽度划定方法不宜直接在我国应用。

国内学者亦开展了植被缓冲带划定方面的研究。左俊杰^[10]以滴水湖汇水区为例, 定量模拟了汇水区的面源污染负荷、汇流路径, 并确定了植被缓冲带的空间格局、宽度、植被种类和数量组成; 夏继红等^[11]根据河岸带结构特征, 分析了河岸带水文、水动力、生态及溶质迁移等主要动态过程, 提出了河岸带最小、最大和最优的不同宽度要求。2016 年, 国家林业局发布了《华北地区河溪植被缓冲带建设技术规程》(LY/T 2639-2016), 其中考虑了河溪规模、土壤渗透能力、径流控制带是否与其他林带发挥协同防护作用, 并直接给出了多种情况下的无干扰林带、人工乔灌林带和径流控制带 3 类植被缓冲区的建议宽度范围^[12]。上述植被缓冲带宽度划定方法各有优缺点及适

收稿日期: 2021-03-26; 录用日期: 2021-07-07

基金项目: 生态环境部业务专项(22110302005)

第一作者: 张静慧(1982—), 女, 博士, 高级工程师, jhzhang06@126.com; ✉通信作者: 高红杰(1981—), 男, 博士, 研究员, gaohj@cracs.org.cn

用范围。经验值法和简单数学模型法所需流域的基础资料少，但不同区域应用的普适性较差，准确度欠佳。复杂机理模型法以及基于 GIS 的数学模型准确度较好，但所需数据资料较多，且仅依据模型计算结果划定缓冲带宽度，往往在缓冲带划定的实践中无法落地实施^[13-14]。

2017 年 1 月，中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《省级空间规划试点方案》指出，以主体功能区规划为基础，全面摸清并分析国土空间本地条件，划定城镇、农业、生态空间以及生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界。2006 年 3 月，住建部发布《城市蓝线管理办法》(建设部令第 145 号)，明确城市蓝线是指城市规划确定的江、河、湖、库、渠和湿地等城市地表水体保护和控制的地域界线。这些都为我国河流缓冲带的划定提供了政策依据。

本研究从面源污染阻隔的角度出发，根据河岸土地利用类型，将河流划分为堤防型河段、城镇型河段、农田型河段、村落型河段和林草型河段，兼顾现有生态红线、河湖管理范围、城市蓝线等空间管控要求，确定基于 VFSMOD 模型的植被缓冲带划定方法，以期为我国缓冲带的构建提供参考。

1 河岸植被缓冲带划定的技术流程

在开展植被缓冲带划定工作时，应首先确定优先区域。本研究确定的优先区域包括：1) 水体水质下降、氮磷超标、水体富营养化较严重的河流及其主要支流；2) 不满足水功能区水质目标要求的河流及其主要支流；3) 重点生态环境保护区域，如自然保护区、饮用水源地保护区、重要湿地、水产种质资源保护区、鱼类“三场”(产卵场、索饵场、越冬场)及洄游通道等保护区域等。

本研究从提升植被缓冲带的养分截留、污染物拦截的角度出发，本着与我国自然资源、环境保护的有关法律、法规、政策和标准相协调一致的原则，统筹衔接生态保护红线、永久基本农田、城市蓝线、河湖管理范围等空间管控要求，建立植被缓冲带的划定方法。植被缓冲带划定的技术流程如图 1 所示。在河岸带调查与分析的基础上，按照河岸的土地利用类型，对河段进行分类，根据各类性河段的特点和各种空间管控要求，并结合 VFSMOD 模型计算，得出农田型和村落型河段缓冲带宽度和其径流拦截率的对应关系，给出各类型河段植被缓冲带在一定径流拦截率下的宽度值。

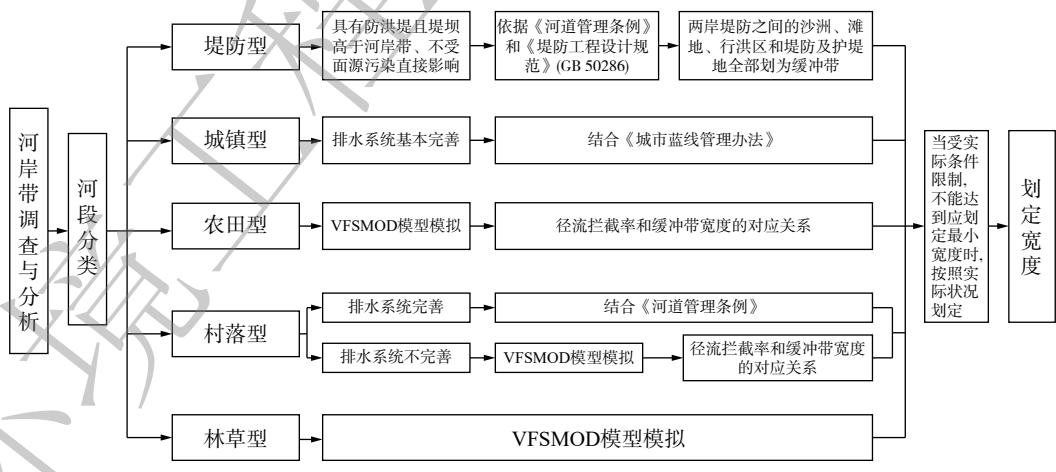


图 1 植被缓冲带的划定技术流程

Fig. 1 Technical process of demarcation of vegetation buffer zone

2 河岸带调查与分析

调查形式包括资料调研和现场调查。通过调查，从河岸带周边生产生活干扰、河岸带生态空间挤占、生境条件破坏等方面进行问题诊断与分析，识别河岸带主要问题，为河流河段的划分及植被缓冲带的划定提供依据。

1) 资料调研。资料调研应收集以下信息: 河流基本信息, 包括流域水系分布、河流长度、主要支流等; 河流水质监测数据、水功能区与水质目标要求等; 河流两岸遥感影像、土地利用调查基础数据、植被类型分布、土壤质地及类型、区域 DEM 高程图; 河流水文、水位、水量及其变化规律; 河流入河排污口及主要污染物排放情况; 目标河流是否属于生态保护红线、自然保护区、饮用水水源保护区、水产种质资源保护区、鱼类“三场”及洄游通道、重要湿地等特殊保护区域范围, 是否存在独特的土著种或珍稀物种以及保护物种需要的生境条件; 目标河流的保护规划、治理方案及相关研究报告, 水利工程有关资料、数据、河道养护资料等。

2) 河岸带现场调查。以河流多年平均最低水位线为起点, 重点对河流岸线、河流两岸土地利用情况、土壤类型、地形坡度及特殊保护区域等进行调查。具体要求如下: 调查河流河岸线类型及占用情况, 包括是否具有防洪堤、自然岸线和人工岸线分布、河滩地分布及基底情况; 采用高分辨率卫星遥感数据或航拍数据, 依据《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017), 对河流两岸土地利用现状或生态系统类型调查分析^[15]; 调查河岸带土壤情况, 根据土壤颗粒粒径及渗透力将其划分为砂土、壤土和黏土 3 个主要类型; 调查河流两岸植被(非农作物)覆盖率及优势植物种类与群落特征; 在 DEM 高程图基础上确定河流两岸地形坡度, 并进行现场踏勘核实; 依据《土地利用现状调查技术规程》, 将坡度等级将河岸带地形划分为平原($0^{\circ}\sim 0.5^{\circ}$, 1%)、微斜坡($0.5^{\circ}\sim 2^{\circ}$, 1%~3.5%)、缓斜坡($2^{\circ}\sim 5^{\circ}$, 3.5%~9%)、斜坡($5^{\circ}\sim 15^{\circ}$, 9%~30%)和陡坡($>15^{\circ}$, $>30%$)^[16]。

3 河岸植被缓冲带最小宽度的确定

3.1 河段类型的划分

根据 2018 年 12 月水利部发布的《水利部关于加快推进河湖管理范围划定工作的通知》中的河流划定方法, 河流被划分为有堤防的河流和无堤防的河流 2 种。因此, 本研究将河段划分为堤防型河段和非堤防型河段 2 大类。堤防型河段具有防洪堤, 且堤坝高于岸边, 河段不受周边面源污染直接影响; 非堤防型河段指河段岸边不存在堤坝的河段, 理论上可认为此类型河段周边的面源污染能通过径流汇入河流。

《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017) 中将土地利用情况共分为一级类 12 个, 包括耕地、园地、林地、草地、商服用地、工矿仓储用地、住宅用地、公共管理与公共服务用地、特殊用地、交通运输用地、水域及设施用地、其他用地等。本研究将该分类的一级类作为岸边土地利用类型分类的依据。按照岸边的土地利用情况, 非堤防型河段可分为城镇型河段、农田型河段、村落型河段和林草型河段。其中, 城镇型河段岸边的土地利用类型包括商服用地、工矿仓储用地、城镇住宅用地、公共管理与公共服务用地或其他建设用地; 农田型河段岸边的土地利用类型包括耕地和园地; 村落型河段岸边的土地利用类型包括农村住宅用地; 林草型河段岸边的土地利用类型为林地、草地、天然湿地的河段, 此类河段面源污染主要来自水土流失, 设置植被缓冲带以保护、自然恢复为主。

植被缓冲带的划定需先按照河流周边土地利用类型将河流河段进行划分。河段划分时, 以河流多年平均最低水位线为基线, 对岸边土地利用情况进行解译, 尽量将岸边为同一连续土地利用类型的河段划分为一个, 同一河段涉及多种土地利用类型的, 以区域内面积占比最高的土地利用类型来确定。

3.2 不同类型河段植被缓冲带最小宽度的确定方法

植被缓冲带截流污染物和沉淀物的效果与其宽度密切相关^[17-20]。本研究从植被缓冲带面源污染阻控角度出发, 采用 VFSMOD 模型, 统筹考虑水利部门河道管理范围、城市规划河湖蓝线管控线以及生态红线等空间管控要求, 确定各类型河段植被缓冲带的最小宽度。

3.2.1 堤防型河段

堤防型河段是具有防洪堤且堤坝高于河岸带、不受面源污染直接影响的河段。依据《河道管理条例》和《堤防工程设计规范》(GB 50286), 将两岸堤防之间的沙洲、滩地、行洪区和堤防及护

堤地，以及堤防背水侧护堤地范围全部划为缓冲带。堤防背水侧护堤地宽度按照堤防工程级别为 5~30 m。

3.2.2 城镇型河段

城镇型河段区域排水系统基本完善，面源污染主要通过排水系统入河。植被缓冲带阻控面源污染功能有限，缓冲带设置主要以提供河流生态空间、减少生产、生活活动对河流的负面影响为主。根据《城市蓝线管理办法》，城市蓝线是城市规划确定的江、河、湖、库、渠和湿地等城市地表水体保护和控制的地域界线，在各类城市规划时划定。城镇型河段植被缓冲带宜综合考虑城市水系的整体性、协调性、安全性和功能性，结合城市蓝线，确定植被缓冲带宽度。

3.2.3 农田型河段

农田型河段的植被缓冲带以降低农田面源污染为主要功能定位。应用 VFSMOD 模型，结合农田型河段的特点，得出农田型河段缓冲带宽度和其径流拦截率的对应关系，从而给出一定径流拦截率下的缓冲带宽度值。

VFSMOD 模型计算的主要指标参数划分如下。地表径流模拟参数：过滤带宽度、过滤带长度、管理因子(C 因子)、控制参数(P 因子)、曲线号、过滤带节点数、过滤带各段末端至过滤带进口的距离、各段的糙率及各段的坡度。雨量参数和入流参数：总降雨量、降雨持续时间。入渗模型土壤参数：土壤类型、饱和导水率、湿润峰处的平均吸力、土壤可蚀性(K 因子)、土壤初始含水率、土壤饱和含水率和最大表面贮水量。泥沙过滤模型缓冲性能参数：过滤介质(草)茎秆间距、过滤介质修正糙率、过滤介质高度、泥沙淤满过滤带后裸露表面的糙率。泥沙过滤模型泥沙特性参数：入流泥沙浓度、入流泥沙粒径分级(按美国农业部泥沙粒径分级标准)、入流泥沙的中值粒径 d_{50} 、入流泥沙中位粒径 $> 0.0037\text{ cm}$ 的泥沙所占比例、沉积泥沙的孔隙率。

根据我国实际情况并结合农田型河段的特点，在 VFSMOD 模型模拟计算中，选取的土壤类型为壤土，总降雨量为 25 mm，曲线号选择 88 号，管理因子(C 因子)选取 0.5，径流源区长度选择 200 m，坡度选取的平原(0°~0.5°，1%)代表坡度值 1%、微斜坡(0.5°~2°，1%~3.5%)代表坡度值 3.5%、缓斜坡(2°~5°，3.5%~9%)代表坡度值 9%、斜坡(5°~15°，9%~30%)代表坡度值 30%，其他模型参数选用模型推荐参数。模拟得到农田型河段缓冲带宽度和其径流拦截率的对应关系如图 2 所示。

在各坡度条件下，径流拦截率分别在 40%、50%、60%、70%、80% 时所需农田型河段植被缓冲带宽度值如表 1 所示。当农田型河段的坡度为 1%、3.5%、9%、30% 时，未达到 60% 的径流拦截率所需植被缓冲带长度分别为 45、55、60、80 m；当坡度为 1%、3.5%、9% 时，达到 80% 径流拦截率所需的植被缓冲带长度分别为 75、105、120 m；但当河岸坡度为 30% 时，缓冲带宽度即使达到 170 m，径流拦截率也仅为 76.12%。

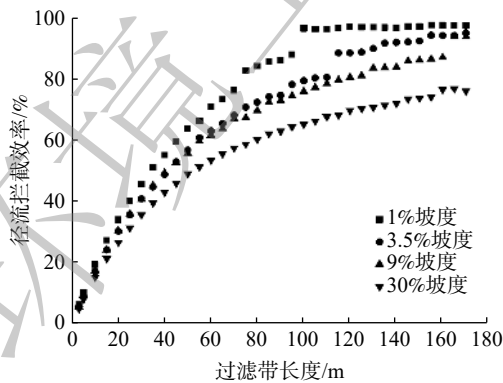


图 2 坡度为 1%、3.5%、9%、30% 时农田型河段的模型模拟结果

Fig. 2 Model simulation results of farmland river reach with slope of 1%, 3.5%, 9% and 30%

表 1 不同径流拦截率目标下农田型河段植被缓冲带最小宽度的推荐值

Table 1 Recommended minimum buffer width of cropland reach

坡度/ %	植被缓冲带最小宽度/m				
	径流 拦截率 40%	径流 拦截率 50%	径流 拦截率 60%	径流 拦截率 70%	径流 拦截率 80%
	1	25	35	45	60
3.5	30	40	55	75	105
9	30	40	60	80	120
30	35	50	80	125	—

一般河流，即满足水功能区要求、无特殊生态环境保护目标的河流，可按照上表中径流拦截率60%对应的宽度来划定农田型河段植被缓冲带的宽度。对于特殊河流，即具有特殊水功能与生态保护目标的河流，如涉及生态保护红线、自然保护区、水产种质资源保护区、饮用水水源保护区、鱼类“三场”及洄游通道、重要湿地等特殊保护区域，以及不满足水功能区要求的河流，可按照上表中径流拦截率80%对应的宽度来划定农田型河段的植被缓冲带的宽度。在实际划定时，应根据河流水环境容量及面源污染情况选取合理的径流拦截率。

由于河道两岸涉及基本农田(耕地红线内)而缓冲带宽度无法达到推荐值的河段，可将实际可划定宽度作为河岸缓冲带宽度，但需通过其他强化措施阻控污染物。

3.2.4 村落型河段

村落型河段植物缓冲带划定分为排水系统完善和排水系统不完善2种情况。对于排水系统完善的村落型河段，面源污染主要通过排水系统入河。此类河段植物缓冲带设置以提供河流生态空间，降低生产、生活活动对河流的负面影响为目标，其宽度宜结合地方河道管理范围来划定。

排水系统缺乏或不完善的村落型河段，生活面源污染物会随降雨径流入河。此类河段植被缓冲带的设置以降低面源污染为主要目标，其宽度划定方法与农田型河段相似。但根据村落型河段的特点，模型模拟参数中的曲线号选择82号，管理因子(C因子)选取0.75，其他参数同农田型河段。应用VFSMOD模型，计算得出的村落型河段植被缓冲带宽度及其径流拦截率的对应关系如图3所示。

各坡度条件下径流拦截率分别在40%、50%、60%、70%、80%时，确定村落型河段植被缓冲带的最小宽度值如表2所示。当农田型河段的坡度为1%、3.5%、9%、30%时，达到60%径流拦截率时所需植被缓冲带长度分别为20、25、30、30m；达到80%径流拦截率时所需植被缓冲带长度分别为35、45、60和70m。

3.2.5 林草型河段

根据林草型河段的特点，模拟选取参数为77号曲线，管理因子(C因子)0.05，其他参数同农田型河段。应用VFSMOD模型，计算得出的村落型河段植被缓冲带的宽度及其径流拦截率的对应关系如图4所示。

表2 不同径流拦截率目标下村落型河段植被缓冲带最小宽度的推荐值

Table 2 Recommended minimum buffer width of village reach

坡度/%	植被缓冲带最小宽度/m				
	径流拦截率	径流拦截率	径流拦截率	径流拦截率	径流拦截率
	40%	50%	60%	70%	80%
1	10	15	20	25	35
3.5	15	20	25	35	45
9	15	20	30	40	60
30	15	20	30	40	70

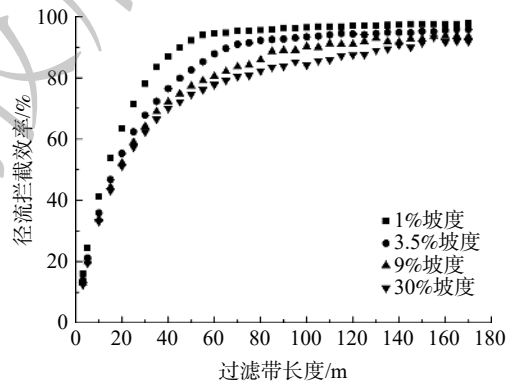


图3 坡度为1%、3.5%、9%、30%时村落型河段的模型模拟结果

Fig. 3 The model simulation results of village-type river reach with slope of 1%, 3.5%, 9% and 30%

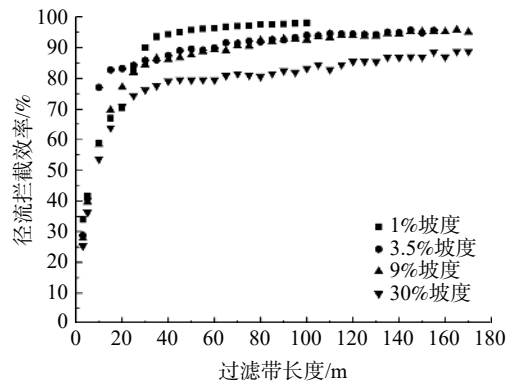


图4 坡度为1%、3.5%、9%、30%时林草型河段的模型模拟结果

Fig. 4 The model simulation results of forest-grass river reach with slope of 1%, 3.5%, 9% and 30%

在1%、3.5%、9%、30%的坡度条件下, 当林草型河段的缓冲带宽度达到15 m时, 径流拦截率均达到60%以上。当径流拦截率达到80%时, 各坡度条件下植被缓冲带宽度值分别确定为25、25、25和65 m。

4 建议

在植被缓冲带实际划定过程中, 建议结合水体环境质量、区域的污染强度、流域面积、流域的土壤特性等因素, 因地制宜地选取模型参数, 确定植被缓冲带的合理宽度。此外, 对于河道两岸涉及基本农田或受客观条件限制无法达到划定宽度推荐值的河段, 可将实际可划定宽度作为植被缓冲带的划定宽度, 并通过实施农田径流收集、植草沟、湿地等技术措施减少污染物入河量。另外, 在划定缓冲带宽度时, 建议兼顾其保护河岸、提高生物多样性、景观美化等方面的功能。

参考文献

- [1] DOSSKEY G M, HELMERS J M, EISENHAUER E D, et al. Assessment of concentrated flow through riparian buffers[J]. *Journal of Soil & Water Conservation*, 2002, 57(6): 336-343.
- [2] LOWRANCE R, WILLIAMS RG, INAMDAR SP, et al. Evaluation of coastal plain conservation buffers using riparian ecosystem management model[J]. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 2001, 37(6): 1445-1455.
- [3] LOWRANCE R R, ALTIER L S, WILLIAMS R G, et al. REMM: The riparian ecosystem management model[J]. *Journal of Soil & Water Conservation*, 2000, 55(1): 27-34.
- [4] 范小华, 谢德体, 魏朝富, 等. 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.
- [5] KNISEL, WALTER G. CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems [USA] [EB/OL]. [2021-03-01]. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8025878>.
- [6] MAJED A, RUDRA RP, WHITELEY HR Validation of a vegetated filter strip model (VFSSMOD)[J]. *Hydrological Processes*, 2001, 15(5): 729-742.
- [7] CLEICI N, PARACCHINI ML, MAES J. Land-cover change dynamics and insights into ecosystem services in European stream riparian zones[J]. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 2014, 14(2): 107-120.
- [8] DESOSA LL, GLANVILLE HC, MARSHALL MR, et al. Delineating and mapping riparian areas for ecosystem service assessment[J]. *Ecohydrology*, 2018, 11(8): e1928.
- [9] BENTRUP G. Conservation buffers: Design guidelines for buffers, corridors, and greenways[R/OL]. [2021-03-01]. <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/33522>.
- [10] 左俊杰. 平原河网地区河岸植被缓冲带定量规划研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- [11] 夏继红, 鞠蕾, 林俊强, 等. 河岸带适宜宽度要求与确定方法[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2013, 41(3): 229-234.
- [12] 国家林业局. 华北地区河溪植被缓冲带建设技术规程: LY/T 2639-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [13] 汤家喜, 孙丽娜, 孙铁珩, 等. 河岸缓冲带对氮磷的截留转化及其生态恢复研究进展[J]. *生态环境学报*, 2012, 21(8): 1514-1520.
- [14] 侯利萍, 何萍, 钱金平, 等. 河岸缓冲带宽度确定方法研究综述[J]. *湿地科学*, 2012, 10(4): 500-506.
- [15] 国土资源部. 土地利用现状分类: GB/T 21010-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [16] 全国农业区划委员会. 土地利用现状调查技术规程[M]. 北京: 测绘出版社, 1984.
- [17] NIAN S, MARIANNE B. Vegetative buffer zones as pesticide filters for simulated surface runoff[J]. *Ecological Engineering*, 2004, 22(3): 175-184.
- [18] CONGRONG Y, BIN G, RAFAEL M C, et al. A laboratory study colloid and solute transport in surface runoff on saturated soil[J]. *Journal of Hydrology*, 2011, 402(1/2): 159-164.
- [19] CHEN H, GRIENEISEN M L, ZHANG M. Predicting pesticide removal efficacy of vegetated filter strips: A meta-regression analysis[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 548-549: 122-130.
- [20] 李冉. 浅层地下水对植生滤带削减面源氮磷污染物的影响及VFSSMOD-W模型模拟研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2019.

(责任编辑: 靳炜)

Demarcation method of riparian vegetation buffer zone based on VFSSMOD model

ZHANG Jinghui¹, YUAN Peng¹, LIU Ruixia¹, SUN Fei¹, LI Xiaojie¹, HAO Runxin^{1,2}, GAO Hongjie^{1,*}

1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

*Corresponding author, E-mail: gaohj@craes.org.cn

Abstract The delimit of river buffer zone is the basis for the construction and management of the river ecological buffer zone. From the point of view of non-point source pollution resistance control, according to the size, function and land use type of river, river can be classified into dike river reach, urban river reach, farmland river reach, village river reach and forest-grass river reach. Based on the VFSSMOD model and the existing spatial control requirements, such as ecological red line, river and lake management scope, and urban blue line, the demarcation method of various buffer zones proposed, in order to provide reference for the demarcation work of riparian vegetation buffer zones in China.

Keywords river; riparian vegetation buffer zone; demarcation method