

河岸带生态学研究进展与展望

韩路^{1, 2}, 王海珍^{1, 2}, 于军¹

1. 塔里木大学植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300

摘要: 河岸带是河流—陆地生态系统之间进行物质、能量、信息交换的重要生态过渡区, 具有独特的生态系统结构和服务功能, 近年来成为国内外生态学和环境科学的研究热点之一。在阐述河岸带结构与功能基础上, 分析了河岸带的影响因素与其退化机制, 退化河岸带的生态恢复理论、基本原则、生态重建技术和发展方向。认为影响河岸带结构与功能的主要因素可归纳为水文与地貌过程、植被与人为干扰 4 个方面; 识别影响河岸带生态系统的生物和物理作用过程及其退化成因是关键, 指出了生态恢复应遵循的原则与宜采用的生态重建技术。在此基础上, 提出河岸带生态恢复应在景观或流域尺度上借助“3S”技术和多学科协作从微观、中观和宏观不同层次开展研究, 甄别生态退化的主导因素, 采用植被重建与水文调控技术尽可能恢复与重建原有自然景观。从系统生态学与景观生态学的角度, 提出河岸带生态学未来研究方向。建议今后应加强对河岸带生态系统结构、生态过程与功能及生态重建技术的研究成果进行系统整合, 建立能够预测河岸带结构与功能动态的数量模型和评价体系, 为实现河岸带重建与高效管理提供科学指导。

关键词: 河岸带; 生态过渡区; 结构与功能; 干扰; 生态恢复与重建

中图分类号: Q149; X171.4

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 05-0879-08

引用格式: 韩路, 王海珍, 于军. 河岸带生态学研究进展与展望[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 879-886.

HAN Lu, WANG Haizhen, YU Jun. Research progress and prospects on riparian zone ecology [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(5): 879-886.

河岸带(Riparian zone)最早被定义为陆地上同河水发生作用的植被区域。之后, 河岸带的定义被拓展为广义和狭义两种^[1]。河岸带通常指高低水位之间的河床及高水位之上直至河水影响完全消失为止的地带^[2]也可泛指一切邻近河流、湖泊、池塘、湿地以及其他特殊水体并且有显著资源价值的地带^[3]。河岸带包括非永久被水淹没的河床及其周围新生的或残余的洪泛平原, 其横向延伸范围可抵周围山麓坡脚。由于河岸带作为河流生态系统和陆地生态系统的过渡带, 它包括岸生植被、动物和微生物及其环境组成的完整生态系统, 在结构和功能上与其他生态系统有显著的区别; 且其界线可以根据土壤、植被和其他可以指示水陆相互作用的因素变化来确定。河岸带生境的特殊性、复杂性与空间高度异质性, 决定了其功能多样性。河岸带生态系统对增加动植物物种种类、数量与分布, 提高生态系统生产力; 治理水土污染和保护、稳定河岸^[4]; 调节微气候和美化环境; 开展旅游活动^[5]等均有重要的现实和潜在价值, 也是良好的农、林、牧、渔业生产基地。同时, 河岸带具有明显的边缘效应和独特的生态过程, 也是最脆弱的生态系统和流域生物多样性最容易丧失的地区^[6-7]。近年来随着人口激增

和河流及其周边土地资源开发强度、范围不断扩大及外来种入侵、城市化、水利工程建设^[7-8]等造成河岸带结构改变, 功能退化, 生态环境恶化, 流域景观生态可持续性下降, 严重威胁着区域生态安全与社会经济的可持续发展。尽管众多学者在河岸带结构与功能特征、退化河岸带的生态恢复及其生态管理等方面进行了一些研究, 但大多研究工作局限于定性介绍与小尺度的定位研究, 缺乏系统性的定量与流域尺度研究, 且国内关于河岸带生态系统恢复的理论及实践研究也较为薄弱^[1, 9-16], 这远远不能满足我国河岸带生态系统规划设计、管理调控和生态恢复的现实需求。因此, 本文在阐述河岸带结构与功能的基础上, 重点对影响河岸带的生物和物理作用过程及导致其退化原因、退化河岸带的生态恢复和重建理论与技术进行总结与分析, 以期为河岸带的科学规划设计和保护利用及生态重建提供理论支持。

1 河岸带结构与功能

国外对河岸带的研究始于 20 世纪 70 年代, 至今, 河岸带研究在理论和实践方面取得了一些成果。在国内, 近年来以流域为对象开展了一些研究工作, 一是关于流域生态安全及其评价、流域水资

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31060066); 973 前期预研专项 (2011CB411909; 2012CB426507)

作者简介: 韩路 (1971 年生), 男, 教授, 主要从事干旱区生态学方面的教学与科研工作。E-mail: hlzky@163.com

收稿日期: 2013-01-17

源利用、生态输水、水文地质灾害防治、水污染防治、洪水漫溢、河岸侵蚀和保护等方面;二是关于河岸带植被结构与动态及生态响应、物种多样性、缓冲功能、廊道功能、河岸带动态及其影响因素等方面。国内对河岸带植被研究主要集中在塔里木河流域、黑河流域、长江三峡段、香溪河流域、二道白河流域以及文峪河流域等,研究的内容主要有植物区系、植被格局、群落结构、环境梯度、群落演替以及生理生态等领域^[17-23]。

1.1 河岸带边界确定

河岸带恢复、保护及科学管理都需要对河岸带的边界进行科学测定,而准确地测定河岸带的边界取决于对植物群落的识别或对河岸带其他属性有强烈影响的环境特征的选择^[24]。河岸带边界有两个,即水域/陆地边界和河岸带/高地边界。人们通常所说的河岸带边界是指后者,是一种特殊的群落交错带。Fortin 等^[25]认为群落交错带有两种,即生物群落交错带和环境群落交错带。需要指出识别群落交错带时,需要清晰定义其标准、方法和尺度。归纳国内外近些年的应用案例,其界定依据主要有以下几种:植被季相变化差异;植被物种组成差异;土壤含水量、营养物和土壤动物组成差异;固定宽度河岸带;局部地形地貌;数字高程模型;50年一遇的洪水水位线等^[26]。当前,在各个尺度上界定河岸带的边界都有比较成熟的方法,如:植被分析法;土壤分析法^[24];景观分析法、统计学法和建模法^[25]。植被分析法主要适用于子流域以下的中小尺度;地理信息系统与遥感等方法综合判定子流域以上尺度的河岸带边界;横断面检测方法适用于所有尺度的河岸带研究。因此,在河岸两侧或一侧垂直于河流方向上设立从河边一直到高地的横断面,是植被分析法和土壤分析法界定河岸带边界时的常用方法。而以地形特征作为划分河岸带与高地群落以及设置样方的依据,有利于通过景观生态学和地理信息系统等手段在更大尺度上确定河岸带的边界及其衍生问题^[26],如河岸带宽度问题。Swanson 等^[27]认为河岸带的范围下至洪水到达的界线,上至河岸带植物林区的顶端。Bennett 等^[28]等认为河岸带的宽度应从河岸岸趾起算到河岸顶部的一定距离的范围内。这大多是一种定性的范围划分且一直也是一个存在争议的问题。通常中等大小以上的河流具有多样化的环境梯度和河岸植被,随着河道变迁和径流量变化而波动。但影响河岸带宽度的因素很多,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,所以不能用统一标准来衡量。

1.2 河岸带结构

河岸带结构具有2种理解方式:一是基于宏观角度的河岸带空间维结构;二是基于微观角度的河岸带植被群落组成及分布的实体结构^[29]。河岸带实体结构包括2大方面:1)河岸带生物群落的植被类型;2)河岸带各植被类型的分布和宽度。河岸带具有四维结构特征,即纵向(上游一下游)、横向(河床—泛滥平原)、垂直方向(河川径流—地下水)和时间变化(如河岸形态变化及河岸生物群落演替)4个方向上的变化^[30]。有学者将河岸带划分为陆向辐射区、水位变幅区和水向辐射区3个区域^[30],也有学者将其划分为河流高低水位之间的水交换区和洪水影响的高地两部分^[11]。河岸带植被依当地的气候、地形、土壤、坡度以及水体的富营养化程度和水文过程各异,同时河岸带景观结构因受人类活动、洪水和地下水位高低的影响表现出不同的结构。国外对河岸带植物群落的研究主要包括河岸生物多样性^[31]、河岸组成树种种群结构与生长动态^[33]、河岸植被空间格局与环境关系^[34]、群落演替与演替机制^[35]、演替(林窗)模型应用^[36]等方面。外来物种入侵、土壤水分与洪水等因子是驱动河岸林演替的动力^[35]。国内目前已开展了对河岸林植物多样性、河岸植物类型与生态适应性、河岸植被时空格局、河岸群落环境梯度格局与演替过程、演替机制与模型预测^[18-19,22]等研究。

1.3 河岸带功能

河岸带功能的研究主要从植被和土壤两方面进行。目前国内外很多学者研究指出河岸带植被对水陆生态系统间的物流、能流、信息流和生物流发挥着廊道、过滤器和屏障功能,其中河岸带的廊道、缓冲带和植物护岸功能研究较多^[3,9,14,16,37]。河岸带廊道的独特功能归纳起来主要包括:增加物种种类的多样性;相邻地区之间物质和能量的交换;为该地区物种提供安全地带或其他资源;为生物提供分散和迁移的路径。护岸功能主要包括:减小河岸一侧水流流速从而降低河水的侵蚀速度;通过河岸植物根系增强河岸亚表层的强度以提高河岸的稳定性;河岸缓冲带可以防止漂浮物或冰块对河岸的影响从而保护河岸、防止洪涝灾害^[6,9,14,37]。缓冲带功能实际上是河流廊道功能的一部分。河流两岸一定宽度的缓冲带通过过滤、渗透、吸收、滞留、沉积等河岸带机械、化学和生物功能效应使进入地表和地下水的污染物毒性减弱及污染程度降低^[6,37]。学者分别研究了河岸带植被对控制工业、森林、草原和农业地区水污染的作用,结果发现河岸带对这些非点源污染过程具有强烈的过滤和缓冲作用、可以降低这些物质在河水中的含量,改变其状态,进而提高河水水质^[38-39]。综上所述,关于河岸带功能的研

究可根据尺度划分为整体功能和局部功能。整体功能从河流上下游连续性的角度以及物质能量输移定理分析得出;局部功能则主要指植被带在横向上的缓冲过滤作用和植被对水质的净化作用以及对河岸的保护功能等^[1]。

2 影响河岸带的因素

2.1 水文过程

影响河岸带结构与功能的因素很多,其中水是最不确定和最显著的因素。水文周期随时空发生不确定变化,加上不定期的洪水作用(流量、流速、水深、含沙量)等形成的河流空间异质性,如河流水文条件的季节和年际变化,造成了河岸区域呈现出洪水和干旱的交替循环过程,以及河边-河漫滩的环境变化梯度等^[6]。每年河流径流对河岸带产生独特的水文和土壤作用使河岸带地形地貌^[13]和土壤结构经常发生复杂变化,导致河岸带植被呈斑块分布、植物群落明显不同于周边高地栖息地^[40]。在局部尺度上,季节性洪水干扰导致空间异质性和小地形改变而影响河岸植物群落多样性与结构;河水漫溢提高了土壤种子库的生物多样性、增加了浅根系和草本植物种类,洪水甚至引起植物群落演替^[17-19, 22, 41]。洪水的发生,可使河床的内部产生一定的异质性,呈现河岸带复杂的初始地貌。河岸带结构的影响程度取决于洪水发生的频率和持续时间^[14, 42]。

2.2 地貌学过程

沉积物沉淀是河岸生态系统中非常重要的过程,对营养物质的再分配和输出有重要意义。河流纵向的蜿蜒性形成了急流与缓流相间及横断面形状多样性。特别是在洪水期,水流侵蚀与淘刷,造成岸坡滑坡、河岸崩塌,河道改道;水体中携带的泥沙在某一区段逐渐沉积形成河漫滩^[1]。地表水侵蚀引发颗粒运动等作用而引起地表土壤颗粒的逐步位移,如溶质运输、枯落物、地表侵蚀蔓延、根生长、碎片崩塌、跌落和泥石流等^[40],均可改变河岸带结构与土壤生态效应。侵蚀影响河岸植被的演替格局,大量树木倾倒与大量沉积物沉淀作用改变地貌形态并影响植被结构。此外,一些地理因素如地形对土壤堆积、再分配和混合具有制约作用,严重影响着土壤属性^[40]。坡的陡峭程度影响着土壤侵蚀机理和营养物质组成。地形对特定位置的土壤形成、地貌过程、干扰机制、光、水和营养物质的有效性等的综合影响而调节植被^[41],使得植被类型、结构与分布随地形的位置、坡度和表面属性不同而不同。

2.3 植被及其残体、枯落物与分解

河岸带植被影响流域水土的生态过程。河岸植被根系可以阻止水流对河岸的侵蚀,调节洪水以及

河流的流速、降低输入河流中沉积物的量^[6, 41-42]。大木质碎片和立木对沉积物和枯落物的移动有缓冲作用,可以增加河岸的高度,从而降低这些地区发生洪水的可能性^[40]。河岸带植被可以产生更多的枯落物且其分解速率相对较快。朽木与枯落物分解、碳矿化、氮吸收和固定,增加土壤厚度与营养物质,为植物生长发育提供营养来源,降低洪水水蚀作用和稳定堤岸。河岸缓冲带植物群落固岸作用主要是通过植物根系渗入土层增加根际土层的机械强度和土壤的聚合力并增大河岸切向力,以减小块体运动和抵御泥沙侵蚀^[9, 29]。乔灌草复合群落植物根系可以垂直深入河岸内部而稳固河岸^[16],尤其短期的洪水侵蚀河堤并且水位经常发生变化时,灌木与草本植物可以有效的发挥防洪和防侵蚀作用^[14]。此外,河岸带植物群落会改变水量平衡的各个环节,影响河道径流和区域水分状况^[44]。河岸带植物形态方面对水文过程的影响主要表现为阻流、导流和截流三个方面,往往会减缓流速、增加淤积、抬高水位,树干茎流和根系导流会增加入渗,加强地下水 and 地表水之间的联系,树冠截留既能捕获横向降水,也会造成截留损失。同时,河流径流、地下水位、土壤水盐、pH 值、有机质及地形、海拔等环境因素均影响植物群落物种组成与分布^[18, 22-23, 41, 45]。但河水(洪水)才是影响河岸带植被组成结构和分布格局的决定性因素^[41, 45]。

2.4 人为干扰

河岸带作为一种生态交错带类型,具有较高的生物多样性,同时也具有很强的生态脆弱性,是生态风险较大的区域。近年来人类活动干扰引起的河岸带植被群落结构的动态变化和生态环境效应,如:改变河岸带水分循环、造成河岸土壤水分降低和土壤质量的退化;同时外来入侵植物严重危害本地的植物生长,降低本地植物多样性,进而导致河岸带群落结构和生境质量的退化^[6]。目前,干扰类型主要为河岸带土地清理、城市建设、土地垦殖、废物排放、地下水利用、放牧活动、木材采伐、休闲娱乐利用、修建大坝、公路等^[6, 26, 40]。人类干扰增加了河岸带地表径流、伐去具有保护作用的河岸植被、改变河水在水系统中的运动方式^[40]。特别是在河岸带放牧带来的踏压作用、河岸崩塌以及过度取食,给原本稳定的河岸植被带来沉积物的损失,对河岸土壤的影响很大。原木采伐会使土壤温度升高,改变土壤的微气候,进而增大土壤侵蚀。学者指出河岸森林群落的植物种类组成、多样性以及外来植物的分布特征和周围土地利用类型,河岸森林斑块大小、连接性、面积与周长比等景观特征有明显的相关关系^[8, 46]。陈子珊等^[20]研究表明,安达木

河溪利用方式对河岸木本植物多样性的影响大小依次为:修建水库、养殖、旅游、耕种、修渠坝、村庄和自然保护区。人类干扰对河岸带的影响是一个长期复杂的生态过程,如何在人类活动干扰日益增强的大趋势下,维护河岸区域的生物多样性和生态系统服务功能具有重要的意义。

3 河岸带管理

如果说保护河流的目的是对整个流域进行正确的规划和控制,河岸带管理则是重要的第一步,河岸带管理的目标是建立一个生机勃勃的河岸带生态系统,即既可持续产出又可使动植物生境得到保护,其措施之一就是建立缓冲带,以持久的保护水域和河岸带物种的生存^[37]。

河岸带管理直接影响着河流生态系统的健康与可持续发展。因此,随着河流生态学的不断发展,河岸带管理研究得到越来越多的关注。河岸带的四维结构决定了河岸带生态系统管理的2大层次^[29]:一是基于生物物理层次的点位小尺度区域系统管理,包括河岸带系统设计和优化研究、河岸带景观特征和生物多样性、生态功能及生态稳定性研究等;二是基于宏观层次的大尺度—综合考虑河岸带—河流—流域大系统之间的密切关系,实现流域尺度的可持续河岸带综合管理。当前,国内外的研究还处于第一个层次,重点研究河岸带的生物物理现象,加强与重视第二个层次的研究。此外,河岸带管理应该站在流域角度,以恢复河岸带生物物理特征,加强人工管护,提高自然资源的利用价值、充分利用水流特性,以提高水域和河岸带生物多样性和恢复力、保护地表和地下潜水的相互作用^[37]及减少人类工程建设、依靠自然力创造环境斑块等为原则进行科学高效管理。

4 退化河岸带的生态恢复与植被营建理论与技术

4.1 河岸带退化机制

目前,世界上20%的河岸带植被已经不复存在,剩余部分也在迅速消失中^[24]。在我国黄河、长江、黑河与塔里木河土地利用程度指数逐年升高,河岸带退化严重。造成河岸带退化的原因主要有河流水文特征改变、城市化与土地利用格局改变及防洪筑堤与外来物种入侵等^[7,12,47],它们分别具有不同的影响机制^[12]。因此,掌握生态系统退化的原因、生态学过程与机理成为开展生态恢复与重建的理论基础。国内外学者提出了一系列相关概念,如Vannote等^[48]提出的“河流连续流”(river continuum concept)概念、Gregory等^[49]提出了基于生态系统观点的河岸带三维结构特征,这两种理论强调不同时间和空间尺度上养分和能量输送与分解、水文和地貌过程

影响河岸带的生态过程和物种演替。Poff等^[50]提出了“河流自然流态”(natural flow regime)的概念、Bayley^[51]提出了“洪水脉冲”(flood pulse)的概念,这两种理论认为河流自然水文特征的改变是导致河岸带生态系统退化的重要干扰因子。Connell^[52]提出“适度干扰假说”(intermediate disturbance hypothesis),认为河岸带植被物种多样性在适度的洪水干扰下将达到最大值。其后这一假设为许多研究者所证明^[53]。Naiman等^[54]提出了“河岸带边界视图”(boundary/interface perspective)的观点,其从景观生态学的角度来看,河岸带生态系统是流域景观的组成部分,作为廊道重新分配影响沿河植物群落有机物。上述概念模型从不同时空尺度上解释了河岸带生态系统的生物和物理过程及其同相邻系统的相互作用,为研究和认识河岸带生态系统结构和功能以及导致其退化的干扰因子提供了理论基础^[12]。

4.2 退化河岸带的生态恢复与重建理论基础

河岸带生态恢复与重建的理论基础是恢复生态学,即通过对一定生境条件下河岸带生态系统退化原因及退化机理的诊断,运用生物、生态工程技术与方法,依据人为设定的目标,使河岸带生态系统的结构、功能和生态学潜力尽可能地恢复到原有的或更高的水平^[12,37]。群落自然演替理论—自然恢复,即依靠生物群落的自然演替过程将生态结构简单、功能弱小的退化生态系统恢复到结构合理、功能高效和协调的原先自维持生态系统^[55]。人类主导作用下的生态恢复理论—人工恢复,即遵循自然规律,根据人类需求并模仿自然生物群落构建生物多样性的人工群落,自然演化过程中加以人工抚育,最后实现恢复。同时,人们也提出与恢复生态学相关的其他概念^[56],如:1)修复指回到先前状态或有所改善;2)整治即修补、挽救,指调整、优化,着重于过程,而不是要达到顶级;3)复垦指使土地适于耕种,恢复到适宜的可利用的状态;4)重建即去除干扰并使生态系统回复原有的利用方式;5)改良即改良立地条件,一般指原有景观彻底破坏后的恢复;6)改进,即对原有的受损系统进行改进,以提高某方面的结构与功能;7)修补即修复部分受损的结构;8)再植即恢复生态系统的部分结构和功能,或恢复当地先前土地利用方式。还有替代、再造等。河岸带生态恢复应包括自然、社会经济、景观3方面并遵循以下6个原则:①自然原则;②功能引导原则;③时空尺度分异原则;④生态循环与平衡原则;⑤利益相关者参与原则;⑥综合效益最优原则^[13]。

4.3 退化河岸带的生态恢复与重建技术

国内外已采取了多种技术来恢复退化河岸带

生态系统,主要包括水文特征、水环境质量、结构形态和种群结构的恢复4个方面^[13]。这里主要介绍以下2种普遍采用的技术。

4.3.1 植被重建

国内外针对退化河岸带的生态恢复,如河岸植被缓冲带结构与功能、规划设计、树种选择等方面开展了许多研究,提出了自然型护岸技术、植物护岸技术、土壤生物工程护岸技术、植物—工程复合护岸技术及生态型护岸技术^[9,14-16,24,42,57-58],其中比较关键的两个因素,一是缓冲带宽度的确定,二是缓冲带植物种类的合理选取与群落构建。当前国内大多数退化河岸带的生态恢复均是以植被重建为主要手段,通过物种筛选、群落构建与结构优化配置技术实现恢复^[14,16,59-60]。张建春根据河岸带的构成和生态系统特征,将河岸带生态重建可概括为河岸带生物重建、河岸缓冲带生境重建和河岸带生态系统结构与功能恢复3个部分。相应地,河岸带生态重建技术可划分为3大类:第一类为河岸带生物重建技术。主要包括物种选育和培植技术、物种筛选与引入技术、种群结构与动态调控技术、群落结构构建与优化配置技术、群落演替控制与重建技术等^[14,31,16,12,24,57];第二类为河岸缓冲带生境重建技术。河岸缓冲带技术包括河岸带固土护岸技术、土壤恢复技术等;第三类为河岸带生态系统结构与功能恢复技术,主要包括生态系统构建与优化及集成技术等^[14]。河岸带植被重建就是选择生态适应性好的乔木作为建群植物,结合乡土灌木和草本进行优化配置,形成科学合理的植物群落结构和功能的。关键是要根据河岸带的具体情况和植物生长特性、抗逆性及其护岸生态机理,加强科学实验和综合评价,筛选出适合当地河岸特征的植被组合模式^[6]和配置方式,提高河岸带物种多样性与稳定性。在植物选择方面应考虑以生态幅广和对土壤要求不严的植物为主,并结合速生与慢生植物和深根性、浅根性、须根发达植物及能够改良土壤的植物进行优化配置^[14,6,16,43,12,47,21,15]。同时,还应参照相应生境下的自然河岸带植被进行群落结构设计,适当增加物种丰富度和垂直结构层次,形成乔灌草立体植物网络,增强河岸带养分和污染物质吸收能力、护岸能力和水土保持能力。河岸带生境重建就是结合仿群落自然演替过程和人工方法,控制河岸水土流失,为河岸带生物提供适宜的生存环境。生物重建初步形成了具有一定结构和功能的河岸带,生境重建则引导和促进了河岸带土壤—植物养分体系的良性循环,加快群落结构和功能的完善。

4.3.2 河流水文调控

正确识别自然影响和人为干扰所造成的河岸

带功能和特性的改变是制定正确生态恢复措施的关键。在进行退化河岸带恢复时,简单的植被重建有时无法达到预期目标,而采用河流水文调控(生态输水)措施,通常更易于达到预期目标,尤其在干旱半干旱区,如塔里木河流域、黑河流域等。国外学者采用水文调控技术进行河岸带生态恢复,取得了较好的效果^[61]。我国学者在塔里木河与黑河流域采用水文调控技术(生态输水),使多年断流的河道逐渐恢复了生机。通过生态输水工程抬升了地下水位、输水沿岸植物物种多样性增加、植被长势恢复,拯救了日益衰败的天然植被^[22-23,62]。同时,优选输水时段,确立每年8—9月为最佳输水时期,使输水时机与植物种子成熟、萌发期相一致,达到“生态契合”^[62]。河流水文调控与植被自然更新相协调,扩大输水的生态效应并提高水资源的利用效率,取得了良好的生态经济效益。这一技术值得在干旱区河岸带的生态恢复中推广与应用。此外,河岸带功能恢复与重建不仅在于恢复和重建河岸带生态系统,还应包括对洪水的管理,地表和地下水交换功能的恢复,以及改变人为的影响因素(如放牧、伐木、筑路等);同时还应关注社会对河岸带资源的需要^[14]。最后,还需注重长远的生态恢复规划、实施和监测^[47]。

5 问题与展望

5.1 问题

河岸带作为一种重要的生态交错带,具有结构复杂、系统内外干扰因子多、时空异质性强等特征,增加了对河岸带生态系统进行研究的难度。该研究领域存在着不足之处,主要表现在:1)河岸带生态学研究以实体结构为主且系统性的定量研究比较缺乏,研究尺度大多在微观与中观水平上,缺少从景观角度及流域尺度上对河岸带的定量研究。2)缺少定量分析自然影响和人为干扰所造成的河岸带功能和特性的改变及内外因子耦合的生态效应研究,河岸带的生态承载能力与服务功能的研究还不够深入和综合。3)河岸带边界的判定与其背景区植被景观空间镶嵌格局、不同尺度下物种多样性与植被格局动态及影响因素等研究工作不够深入,植被动态演替机制与其生态服务效应的长期定位研究较少。4)河岸带截留转化农业非点源污染的净化机理和控制过程研究不够深入系统且缺乏长期的定位实验研究及数量模型,对河岸带生态系统物质的生物地球化学循环过程、平衡和循环机制还没有搞清楚。5)河岸带不同种类植物的形态和生理生态水文效应机理与不同尺度下植物群落的水文、生态过程及耦合机制、尺度转换模型研究不够系统,缺乏多尺度耦合下的植被水文生态效应和

土壤水文过程研究。6) 缺少河岸带研究的尺度转换、多学科交叉和综合集成及景观结构—生态过程—生态服务功能动态变化的耦合研究。

5.2 展望

通过对现有河岸带研究成果的总结与分析,对今后河岸带生态学的研究提出以下建议。

1) 采用多学科交叉的方法,充分考虑社会经济因素研究河岸带的内涵和河岸带生态系统的结构与生态、景观功能;加强河岸带生态系统内各要素之间相互作用机制研究,定量分析和模拟自然因素和人为干扰对河岸带植被以及整个生态系统的影响。

2) 重点研究不同地理区域下河岸带植被结构与格局动态及演替规律、机理以及河流水文格局、土壤生态过程等与生物多样性、生态稳定性之间的关系和影响机制。

3) 加强河岸带截留转化农业非点源污染的净化机理和控制过程及河岸带土壤生态过程的研究。研究河岸带植被类型、水文格局的异质性对典型元素如碳、氮、磷等的迁移转化规律和生物地球化学循环过程的影响,同时要结合区域环境特征如气候、水文、土壤、污染物特性等因素和防控目标,探索适宜的河岸带生态系统结构如最佳的植被组成、种植面积、空间配置和河岸带宽度、坡度模式并建立长期的定位观测实验基地。

4) 在流域及景观综合尺度上,探求出河岸带植被被景观格局动态与流域水文过程的耦合效应。构建和校核流域水文过程耦合模型和尺度转换模型,开展各类植物群落的宏观生态水文效应的多情境分析,探讨植被影响径流形成的内在机制、生态过程和水文过程的耦合机制,以进行不同自然地理和气候条件下的植被水文生态分类和流域管理区划,是今后流域植被水文生态研究的主要方向。另外,弄清楚水文过程与面源污染物扩散和防治机理是建设植物缓冲带的基础。

5) 加强流域、河流廊道与河段(微观、中观与宏观)3个层次对河岸带结构与功能的尺度转换及集成研究。在小尺度长期定位观测研究基础上,利用“3S”耦合技术、计算机技术及现代数学方法定量分析河岸带地形、水文、植被空间格局和河岸带植被景观与人类活动的关系及其时空动态变化规律,揭示河岸带生态系统景观结构—生态过程—生态服务功能动态变化的耦合过程、机制。需要进行集成研究,将地理学、植物学、生态学、环境学、水文学、地貌学、地图学、水利学等多种学科结合起来进行综合分析。

6) 充分考虑河岸带生态系统与相邻生态系统

及社会经济系统之间的关联,利用现代数学方法分析研究影响河岸带生态安全、生态稳定、生态健康以及结构稳定的主要指标,开发和完善具有我国地域特点和环境特征的生态系统管理和评价数学模型,使河岸带管理更为量化、合理化和更具有预测性。

7) 加强受损河岸带生态系统的生态恢复理论与技术研究。河岸带生态恢复应在景观或流域尺度上进行考虑,甄别对其影响的生物和物理过程及导致其退化的干扰因子,然后根据不同的自然地带性规律、生态演替及生态位原理选择适宜的先锋植物、构造植物群落,实行土壤、植被与生物同步分级恢复,并利用植被重建与水文调控措施来综合调控,建立适当的退化河岸带生态恢复技术和生态恢复评价体系,将是今后一定时期内相关研究的前沿问题。

参考文献:

- [1] 王家生,孔丽娜,林木松,等. 河岸带特征和功能研究综述[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(11):28-35.
- [2] NILSSON C, BERGGREA K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation[J]. Bioscience, 2000,50:783-793.
- [3] STOODLEY S H. Economic feasibility of riparian buffer implementation. Case Study: Sugar Creek, Caddo County, Oklahoma[D]. Oklahoma State University, 1998.
- [4] 陈吉泉. 河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用[J]. 应用生态学报,1996,7(4):439-448.
- [5] Selby P. From Cropland to Wetland to Classroom[J]. Land and Water, 2000, 44:55-57.
- [6] 郭二辉,孙然好,陈利顶. 河岸植被缓冲带主要生态服务功能研究的现状与展望[J]. 生态学报, 2011,30(8):1830-1837.
- [7] MCNEISH R E, ERIC BENBOW M, MCEWAN R W. Riparian forest invasion by a terrestrial shrub (*Lonicera maackii*) impacts aquatic biota and organic matter processing in headwater streams[J]. Biological Invasions, 2012, 14:1881-1893.
- [8] SUNIL C, SOMASHEKAR R K, NAGARAJA B C. Impact of anthropogenic disturbances on riparian forest ecology and ecosystem services in Southern India[J]. Ecosystem Services & Management, 2011, 7: 273-282.
- [9] 夏继红,严忠民. 生态河岸带研究进展与发展趋势[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2004,32(3):252-255.
- [10] 王青春,邓红兵,王庆礼. 基于生物多样性保护的河岸带植被管理对策[J]. 生态学报,2006,25(6):682-685.
- [11] 郭怀成,黄凯,刘永,等. 河岸带生态系统管理研究概念框架及其关键问题[J]. 地理研究, 2007, 26(4):789-798.
- [12] 黄凯,郭怀成,刘永,等. 河岸带生态系统退化机制及其恢复研究进展[J]. 应用生态学报, 2007,18(6):1373-1382.
- [13] 陈利顶,齐鑫,李芬,等. 城市化过程对河道系统的干扰与生态修复原则和方法[J]. 生态学报,2010,29(4):805-811.
- [14] 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.
- [15] 曾立雄,黄志霖,肖文发,等. 河岸植被缓冲带的功能及其设计与管理

- [J]. 林业科学, 2010, 46(2): 128-132.
- [16] 赵广琦, 崔心红, 张群, 等. 河岸带植被重建的生态修复技术及应用[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 252-258.
- [17] 江明喜, 蔡庆华, 邓红兵. 神农架地区珍稀植物沿河岸带的分布格局[J]. 林业研究, 2002, 13(1): 25-27.
- [18] 刘加珍, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河下游植物群落分布与衰退演替趋势分析[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 379-383.
- [19] 郭跃东, 郭晋平, 张芸香, 等. 文峪河上游河岸林群落环境梯度格局和演替过程[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4046-4055.
- [20] 陈子珊, 高甲荣, 包昱峰, 等. 河溪利用方式对河岸带木本植物多样性的影响[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4): 189-191.
- [21] 王劲修, 齐实. 山西沁河上游河岸植被缓冲带评价与恢复重建研究[J]. 湖南农业科学, 2011, 11: 115-119.
- [22] 徐海量, 叶茂, 李吉玫, 等. 河水漫溢对荒漠河岸林植物群落生态特征的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 4990-4998.
- [23] 张一驰, 于静洁, 乔茂云, 等. 黑河流域生态输水对下游植被变化影响研究[J]. 水利学报, 2011, 42(7): 757-765.
- [24] NAIMAN R J, DECAMPS H, MCCLAIN M E. Riparian: Ecology Conservation and Management of Streamside Communities[M]. Burlington, USA: Elsevier Academic Press, 2005.
- [25] FORTIN M J, OLSON R J, FERSON S, et al. Issues related to the detection of boundaries[J]. Landscape Ecology, 2000, 15: 453-466.
- [26] 张东旭, 郭晋平. 河岸带边界界定中的关键问题[J]. 山西林业科技, 2010, 39(20): 29-32.
- [27] SWANSON F J, KRATZ T K, CAINE N, et al. Landform effects on ecosystem patterns and processes[J]. Bioscience, 1988, 38: 92-98.
- [28] BENNETT P. Guidelines for assessing and monitoring riverbank health[M]. NSW: Hawkesbury-Nepean Catchment Management Trust, 2000: 3-4.
- [29] 杨胜天, 王雪蕾, 刘昌明, 等. 岸边带生态系统研究进展[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 894-905.
- [30] GURNELL A M, EDWARDS P J, PETTS G E. A conceptual model for alpine proglacial river channel evolution under changing climatic conditions[J]. Catena, 2000, 38: 223-242.
- [31] 冯育青, 王莹, 阮宏华. 水岸带研究综述[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33(6): 127-131.
- [32] UOWOLO A L, BINKLEY D, ADAIR E C. Plant diversity in riparian forests in northwest Colorado: Effects of time and river regulation[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 218: 107-114.
- [33] HUMBERTO S A, GABRIELA E P, GUADALUPE M B. Population structure of the Mexican baldcypress (*Taxodium mucronatum* Ten.) in Queretaro, Mexico[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 242: 243-249.
- [34] STOCKAN J A, LANGAN S J, YOUNG M R. Investigating riparian margins for vegetation patterns and plant-environment relationships in Northeast Scotland[J]. Journal of Environmental Quality, 2012, 41: 364-372.
- [35] RADIM H, MARTIN K, JOSEF K. Half a century of succession in a temperate oak wood: from species-rich community to mesic forest[J]. Diversity and Distributions, 2010, 16: 267-276.
- [36] MCCLAIN C D, HOLL K D, WOOD D M. Successional Models as Guides for Restoration of Riparian Forest Understory[J]. Restoration Ecology, 2011, 19: 280-289.
- [37] 张建春. 河岸带功能及其管理[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 143-146.
- [38] LOWRANCE R, LEONARD R, SHERIDAN J. Managing riparian ecosystems to control nonpoint pollution[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1985, 40: 87-91.
- [39] WEIGELHOFER G, FUCHSBERGER J, TEUFL B, et al. Effects of riparian forest buffers on in-stream nutrient retention in agricultural catchments[J]. Journal of Environmental Quality, 2012, 41: 373-379.
- [40] 李新茂, 张东旭. 关于美国河岸带土壤的研究综述[J]. 水土保持应用技术, 2007(6): 11-13.
- [41] GOEBEL P C, PREGITZER K S, PALIK B J, et al. Influence of flooding and landform properties on riparian plant communities in an Old-Growth Northern Hardwood Watershed[J]. Wetlands, 2012, 32: 679-691.
- [42] LITE S J, BAGSTAD K J, STROMBERG J C. Riparian plant species richness along lateral and longitudinal gradients of water stress and flood disturbance, San Pedro River, Arizona, USA[J]. Journal of Arid Environments, 2005, 63: 785-813.
- [43] 王帅, 赵聚国, 叶碎高. 河岸带植物生态水文效应研究述评[J]. 亚热带水土保持, 2008, 20(1): 5-7.
- [44] TABACCHI E, LAMBS L, GUILLOY H, et al. Impacts of riparian vegetation on hydrological processes[J]. Hydrological Processes, 2000, 14: 2959-2976.
- [45] TIKSSA M, BEKELE T, KELBESSA E. Plant community distribution and variation along the Awash river corridor in the main Ethiopian rift[J]. African Journal of Ecology, 2010, 48: 21-28.
- [46] MOFFATT S F, MCLACHLAN S M, KENKEL N C. Impacts of land use on riparian forest along an urban-rural gradient in southern Manitoba[J]. Plant Ecology, 2004, 174: 119-135.
- [47] 汤胜, 潘百红. 退化河岸带生态景观的恢复研究[J]. 现代农业科技, 2009(2): 234-235.
- [48] VANNOTE R L, MINSHALL G M, CUMMINS K W, et al. The river continuum concept[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1980, 37: 130-137.
- [49] GREGORY S V, SWANSON F J, MCKEE A, et al. An ecosystem perspective of riparian zones: Focus on links between land and water[J]. Bioscience, 1991, 41: 540-551.
- [50] POFF N L, ALLAN J D, BAIN M B, et al. The natural flow regime[J]. BioScience, 1997, 47: 769-784.
- [51] Bayley P B. Understanding large river floodplain ecosystems[J]. Bioscience, 1995, 45: 153-158.
- [52] CONNELL J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs[J]. Science, 1978, 199: 1302-1310.
- [53] BISWAS S R, MALLIK A U. Species diversity and functional diversity relationship varies with disturbance intensity[J]. Ecosphere, 2011, 2: 1-10.
- [54] NAIMAN R J, DECAMPS H. The ecology of interface: Riparian zones[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1997, 28: 621-658.
- [55] 舒俭民, 刘晓春. 恢复生态学的理论基础、关键技术与应用前景[J]. 中国环境科学, 1998, 18(6): 540-543.
- [56] 彭少麟, 陆宏芳. 恢复生态学的焦点问题[J]. 生态学报, 2003, 23(8): 1249-1257.
- [57] MANDER U, HAYAKAWA Y, KUUSEMETS V. Purification processes, ecological functions, planning and design of riparian buffer zones in agricultural watersheds[J]. Ecological Engineering, 2005, 24:

- 421-432.
- [58] ROOD S B, PAN J, GILL K M, et al. Declining summer flows of Rocky Mountain rivers: Changing seasonal hydrology and probable impacts on floodplain forests[J]. *Journal of hydrology*, 2008, 349: 397-410.
- [59] 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]. *生态学报*,2005,24(2):214-216.
- [60] 张宏斌,孟好军,刘贤德,等. 甘肃省张掖市黑河流域中游典型退化湿地植被特征及生态恢复技术[J].*湿地科学*,2012,10(2):194-199.
- [61] STROMBERG J C. Restoration of riparian vegetation in the south-western United States: importance of flow regimes and fluvial dynamism[J]. *Journal of Arid Environments*, 2001, 49:17-34.
- [62] 陈亚宁,李卫红,陈亚鹏,等. 新疆塔里木河下游断流河道输水与生态恢复[J]. *生态学报*,2007,27(2):539-545.

Research progress and prospects on riparian zone ecology

HAN Lu^{1,2}, WANG Haizhen^{1,2}, YU Jun¹

1. College of Plant Science, Tarim University, Alaer, Xinjiang 843300, China;

2. Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, Alaer, Xinjiang 843300, China

Abstract: Riparian zone is an important ecotone exchanging substance, energy and information between river and land ecosystems and have unique ecosystem structure and ecological service function. It is a research hotspot of ecology and environmental science around the world in recent years. Much attention has been paid to the resulted environmental effects, but how to restore a healthy riparian ecosystem is still lacking scientific methodology. In this paper, the structure and function of riparian zone, affecting factors and degradation mechanisms, and related restoration principles of degraded riparian ecosystem, and reconstruction methods and development directions were reviewed and discussed. In general, The main affecting factors on the structure and function of riparian ecosystem were eco-hydrological process, geomorphology process, vegetation and anthropogenic disturbances. Understanding of the biological and physical processes which affect riparian ecosystem and degradation causes in detail were the key issue. The basic principles have to be followed and appropriate ecological reconstruction method should be adopted when restoring riparian ecosystem. On the basis of the above analysis, we proposed GIS technology and multidisciplinary cooperation should be adopted and advocated to systematically research riparian zone from macro-, mid- and micro-scales, grasp the degradation causes and implement the vegetation restoration and hydrological adjustment to restore the original natural landscape at watershed or landscape scale. Perspective of the system ecology and landscape ecology, the research directions of riparian ecology were put forward in the future. We suggested to integrate systematically the research achievements of structure, function, ecological processes and reconstruction methods of riparian zone, and establish the quantitative models and comprehensive assessment system in order to supply the scientific guidance for efficient management and ecological rehabilitation of riparian zone.

Key words: riparian zone; ecotone; structure and function; disturbance; ecological restoration and reconstruction