

Seasonal Variation of Microorganism Community Structure in the Middle Section of Three Gorges Reservoir

QIN Yu, ZHANG Xi, WANG Zi-wei, ZHENG Wang

(Key Laboratory of Water Conservancy and Transportation Engineering, Ministry of Education,
Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, P.R.China)

Abstract: Seasonal variation and exploitation of microbial community diversity in the middle section of Three Gorges Reservoir can provide information to regulate Three Georges Reservoir (TGR) more effectively. In this study, we investigated microbial community structure and diversity in the middle section of TGR by constructing a 16S rDNA clone library. The seasonal distribution of the microbial community and its relationship with environmental parameters were then analyzed. The aim was to better understand seasonal variation of microbial community structure in Three Gorges Reservoir. In winter (January), spring (March), summer (July) and autumn (September) of 2018, water samples were collected from TGR at Wanzhou, Fuling and Zhongxian for analysis of water quality parameters and microbial community structure. The 16S rRNA gene clone library was constructed and analyzed by high-throughput sequencing combined with PCR amplification. Results show that Proteobacteria, Actinobacteria, Bacteroidetes and Cyanobacteria were the dominant bacteria taxa in the middle section of the Three Gorges Reservoir, and the distribution of different bacteria phyla clearly varied with season. Proteobacteria was the most dominant taxa in summer, autumn and winter, accounting for 42.63%–92.90% of the total bacteria. Actinobacteria were relatively abundant in spring (16.65%–42.25%), while cyanobacteria were relatively abundant in winter and spring (6.50%–13.50%), but low in summer and autumn. Microbial diversity in winter was higher than in summer, but microbial abundance was higher in summer than in winter. Principal Coordinate Analysis (PCoA) and hierarchical cluster analysis show that microbial community structure in summer and autumn was similar, and similarity in winter and spring was high. Analysis of variance showed that microbial community diversity in summer and autumn were significantly different from in spring and winter ($P=0.001$). Redundancy Analysis (RDA) showed that water temperature was the primary environmental factor affecting microbial community structure in the middle section of Three Gorges Reservoir.

Key words: Three Gorges Reservoir; microorganism; community structure; seasonal variation

新津河网系统河岸带植物种类组成与多样性研究

刘婷婷^{1,2}, 王晓锋^{1,3}, 袁兴中^{1,4}, 龚小杰¹, 侯春丽^{1,4}

(1. 长江上游湿地科学研究重庆市重点实验室, 重庆 401331;

2. 华东师范大学河口海岸科学研究院, 上海 200241

3. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 401331;

4. 重庆大学建筑城规学院, 重庆 400030)

摘要:河岸带水-陆生态系统具有较高的生物多样性,是生物多样性保护和恢复的重要区域。选择成都市近郊的新津县为研究区域,沿西河、南河、羊马河、杨柳河、金马河及岷江河岸带设置15个样地,对其境内主要河网河岸带系统的植物组成、区系特点、群落类型及多样性特征进行调查分析。结果表明,新津县河岸带维管束植物共有64科、159属、212种,受生境异质性及人类活动干扰的影响,河岸带之间植物群落丰度及物种组成差异较大,尤其仅出现在某一条河流河岸带的物种达75种;从整体上看,由不同河流组成的河网河岸带系统能够支持更高的物种丰度,且湿生植物比例更大,对维持区域生物多样性更有价值;河岸带系统的植物区系成分复杂,以热带、温带及世界广布性成分为主,表明区域河网河岸带生境条件的复杂性;基于TWINSPAN分析将区域河岸带网植物群落分为12个优势类型,其中金马河段和羊马河群落类型有7~8个,西河、南河和杨柳河有3~4个,受人类活动干扰最强的岷江干流仅1个;金马河、西河河段植物的物种多样性指数较高,南河和羊马河次之,杨柳河和岷江段较低。不同河流之间群落相似性较低,对维持河网系统物种多样性具有重要意义。

关键词:河网系统;植物群落;多样性;新津县

中图分类号: Q948

文献标志码: A

文章编号: 1674-3075(2021)06-0024-10

河岸带是指河流高低水位线之间植物特征、群落组成及种群复杂程度与周边区域明显不同的地带,是陆生与水生生态系统的交错区(Naiman et al,1993; Naiman & Henri,1997; 张建春和彭补拙,2001)。河岸带发挥着拦截陆源污染物、微气候调节、生物生境以及生物廊道等生态功能,对维持河流生态系统健康具有重要意义(Naiman et al,1993; 田自强等,2007; Gregory et al,2010)。河岸带受到水-陆生态过程的双重影响,具有复杂多样的生境结构和功能特征,是区域生物多样性保护的关键区域(Burger, 2000; Buijse et al,2002)。过去几十年,由于频繁的人类活动(挖砂采泥、农业垦殖、城市扩张、河流污染、筑坝等)和日益加剧的气候变化,导致河岸带生物多样性减少、生态功能加速退化(Naiman et al,1988; Futoshi & Hiroyuki,2005; 田自

强等,2007)。河岸带生态恢复及生物多样性保护已成为生态学研究热点。

植物群落作为河岸带湿地生态系统的关键组成要素,对维持湿地功能和稳定性具有重要作用,同时也是河岸带生物多样性恢复的重点(李融等,2011; 陈明林等,2014)。河岸带植物群落形成及维持机制、植被分布格局、功能群组成、生态恢复评价等方面已开展了大量研究,对生物多样性恢复具有重要意义(Naiman et al,1993; Richardson et al,2007; 李融等,2011; 符文超等,2014; 赫晓慧等,2014; 修晨等,2014; 罗琰等,2016)。然而,大多数研究主要针对单一河流或河段的河岸带植物群落及物种多样性特征(李融等,2011; 陈明林等,2014; 赫晓慧等,2014)、区系组成(修晨等,2014)以及恢复措施(符文超等,2014);而对区域尺度上保持水文连通的河网系统构成及河岸带网络在植物多样性支持方面的作用研究极少,仅田自强等(2007)对太湖河网区河岸带系统生态修复开展过相关研究。无论平原区或山区,河网系统普遍存在,而且其岸带系统直接连接或者通过水文过程保持物质交换,在结构和功能(特别是物种扩散)上形成了一个不可分割的整体湿地系统;这样的河岸带网络使湿生生境面积扩大、类型多样化,对区域植物群落类型、区系特点以及多样性均产生重要影响。

收稿日期:2019-07-29 修回日期:2021-06-04

基金项目:国家自然科学基金(41807321);重庆市基础研究与前沿探索项目(cstc2018jcyjAX0672);重庆市教委研究项目(KJZD-K202000502)。

作者简介:刘婷婷,1994年生,女,硕士研究生,研究方向为湿地生态学。E-mail: liuting4501@163.com

通信作者:王晓锋,1987年生,男,博士,副教授,主要从事湿地生态学研究。E-mail: xiaofeng6540@163.com

基于此,本研究通过探索区域河网河岸带系统中植物群落及多样性的整体特征,以弥补以往河网河岸带生物多样性研究的不足,同时为区域生物多样性保护和恢复提供借鉴。选取四川省成都市近郊的新津县为研究区域,该区域属岷江水系中游重要生态区,境内岷江干流局部河段(金马河)及其主要支流(羊马河、杨柳河、南河、西河)相互联通,是成都平原区典型的河网系统。通过对境内河网河岸带植物物种及群落的实地调查,结合新津县的历史资料和相关文献,分析区域河岸带植物的区系组成、群落类型、物种多样性特征,旨在为新津河网湿地的资源保护与利用以及生物多样性维持和发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 区域概况

新津县位于四川盆地西部、成都市南部,国土面积 330 km²,建城区面积 42.7 km²,总人口 31.5 万,其中城镇人口 14.5 万。研究区属于亚热带季风湿润性气候,雨量充沛,四季分明,年均气温 16.4℃,年降雨量 987 mm,土壤类型以紫色土为主。岷江干流局部河段(金马河)自西北向东南横贯全县,左右两侧的西河、南河、羊马河、杨柳河等均在新津县境内汇入,河流总长度为 73.35 km,水域面积 16.9 km²,形成了典型的向心状河网系统和河岸带湿地网络(图 1)。

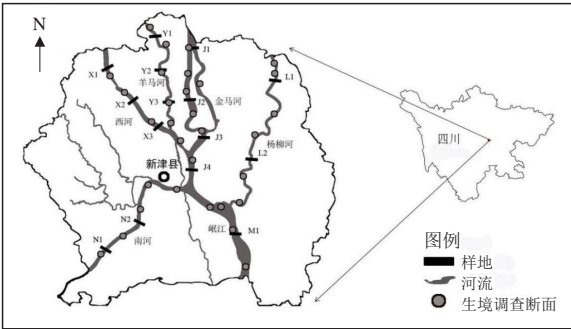


图 1 研究区域及样地位置
Fig.1 Location of the study area and sample plots

1.2 研究方案

1.2.1 物种组成普查及生境调查 为系统分析河网河岸带物种组成及生境特点,于 2018 年 6 月植物生长茂盛的季节进行野外调查。根据河流长度,沿新津县境内西河、南河、羊马河、杨柳河、金马河及岷江河段河岸带设置 5 条长 500 m、宽 30 m 的样线,记录河岸带内观察到的所有物种,同时记录样带的经纬度、海拔、坡度、生境特点,并结合地形、底质类型、人类活动干扰、湿地修复情况等对河岸带生境类型进行划分,并记录调查中所有生境数量(张潇月等, 2019)。

由于河流水文条件及人类活动干扰类型的强度差异,河网各河流河岸带生境类型(表 1)不同:

表 1 新津河网河岸带采样地信息

Tab.1 Information on the riparian zone of the river network in Xinjin County

河流名称	河长/km	河宽/m	生境类型及数量/种				
			自然	半自然	人工干扰	生态修复	合计
西河	10.58	120~200	9	5	5	0	19
羊马河	9.71	20~40	11	4	4	4	23
金马河新津段	14.80	200~500	15	7	7	0	29
南河	14.16	150~250	4	4	3	0	11
杨柳河	15.50	15~35	3	2	2	4	11
岷江新津段	8.60	250~470	6	3	3	0	12
合计	73.35						

- (1)自然生境。河岸带区域由于特殊的地形、水文、气候等条件自然形成的微生境,主要包括卵石洪泛区、淤泥质洪泛区、洪泛区灌丛、沙洲、沙坑、河漫滩坑塘、溪沟、陡坡灌丛和草地、缓坡草地和灌丛、缓坡次生林、半岛、阶地坑塘等。
- (2)半自然生境。河岸带区域在自然-人工干扰条件下形成的微生境,主要包括未硬化道路、竹林、废弃沙堆及沙坑、半硬化护岸堤、桥墩周围的砾石堆、缓坡和洪泛区撂荒地、竹林、人工林。
- (3)人工干扰生境。自然河岸带受到强烈人为干扰而重新塑造的微生境,主要包括全硬化护岸堤、

- 硬化道路、洪泛区农地、农地-竹林-居民点、采砂施工区、陡坡和缓坡农地、城市绿化等。
- (4)生态修复生境。河岸生态修复工程微生境主要包括人工湿地、生物沟、生物塘、人工绿地、牛轭湖等。金马河段河岸带较宽,坡度变化大,生境类型最丰富,包含 29 种类型,且以卵石洪泛区、沙洲、河漫滩坑塘、陡坡灌丛、废弃沙坑及沙堆等自然及半自然生境类型为主;西河和羊马河次之,均以自然及半自然生境为主,且羊马河部分河段由于湿地修复,提高了生境的多样性;南河、杨柳河由于较强人为干扰,生境空间异质性显著降低。

1.2.2 样方设置及标本鉴定 根据前期实地踏勘及普查情况,考虑河岸带优势群落、河网分布、河岸类型、挖沙采石干扰、城镇发展及农业活动的差异,按河流流向自上游向下游按地形梯度、水文梯度、群落梯度等设置 15 个样地,分别为 X1~X3、Y1~Y3、J1~J4、N1~N2、L1~L2、M1,对应每个样地设置 3 个样方(个别断面 2 个),对应样方编号分别为 S1~S9、S10~S18、S19~S30、S31~S36、S37~S40、S41~S43。每个样地内设置 2~4 个草本样方(1 m×1 m),共 43 个样方(图 1)。详细记录样方内植物的种名、盖度、高度,用于分析河岸带草本植物多样性特征及群落分布格局,采用植物野外鉴定、标本采集室内鉴定相结合的方法。

1.3 分析方法

根据新津县河网河岸带以草本植物居多的特点,参照植物物种多样性的测度方法(方精云等, 2004; 姜彦景等, 2006),选取 α-多样性指数包括 Margalef 丰富度指数 (M)、Shannon-Wiener 多样性指数 (H)、Simpson 优势度指数 (D)、Pielou 均匀度指数 (J_e) 分析不同河岸带样地内植物群落的物种多样性特征(马克平, 1994); 选取 Whittaker 指数 (β_w)、Jaccard 相似性系数 (C_j)、Sorenson 指数 (C_s) 与 Cody 指数 (β_c) 共计 4 个 β-物种多样性指数(马克平等, 1995),分析河岸带网络系统的物种多样性特征,均用 Excel 软件计算分析。

$$M=(S-1)/\ln N$$
①

$$H=-\sum_{i=1}^SP_i\ln P_i$$
②

$$D=1-\sum_{i=1}^SP_i^2$$
③

$$J_e=H/\ln N$$
④

$$\beta_w=\frac{S}{m_a}-1$$
⑤

$$C_j=\frac{c}{a+b-c}$$
⑥

$$C_s=\frac{2c}{a+b}$$
⑦

$$\beta_c=\frac{g(H)+l(H)}{2}=\frac{a+b-2c}{2}$$
⑧

式中: P_i 为个体属于第 i 种的概率; S 为样方内物种数; N 为每个样方内所有物种的总数; m_a 为各样方的平均物种数; $g(H)$ 是沿生境梯度 H 增加的物种数目, $l(H)$ 是沿生境梯度 H 失去的物种数目; a 和 b 分别为两群落的物种数; c 为两群落的共有物种数。

由于本研究不同样地内的样方数不同,为了消除面积对物种丰富度的影响,采用转换物种丰富度

(TSR)来测度各样地的物种丰富度(He et al, 1996):

$$TSR=N/\ln S$$
⑨

重要值=(相对盖度+相对高度)/2 ⑩

采用双向指示法(Two way indicator species analysis, TWINSpan)对新津县河网河岸带植物进行等级分类(方精云等,2004),利用 PC-ORD.5 软件实现。

2 结果与分析

2.1 植物种类组成

本次调查结果显示,新津县河网河岸带共有维管束植物有 64 科、159 属、212 种,其中大部分为草本植物,且菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)的优势明显。单种科有 32 科,占总科数的 50.00%。该区所有属包含的种数都在 10 种以下,在各类型植物中,以单种属所占的比例最高,达到 54.94%。新津县河网河岸带植物总体上以单种科、单种属占主导,植物成分较复杂,多样性较高。

不同河流河岸带植物的种类组成和数量差异较大,其中羊马河和金马河植物种类组成最复杂,分别包含 124 和 105 种,高于其他河岸带;整个河网河岸带仅出现在某一条河岸带的物种(区域性物种)数量高达 75 种,占总物种数的 35.4%;以羊马河区域性物种最多,金马河次之,受城市扩张影响较大的岷江新津县段最少(图 2)。生活型分析结果表明,整个河网河岸带湿地植物相对较少,共 25 科、58 属、74 种,仅占总物种数的 34.9%;同时,不同河段湿地植物丰度差异显著,羊马河、金马河和南河河岸带种类较多,高于其他 3 条河段。

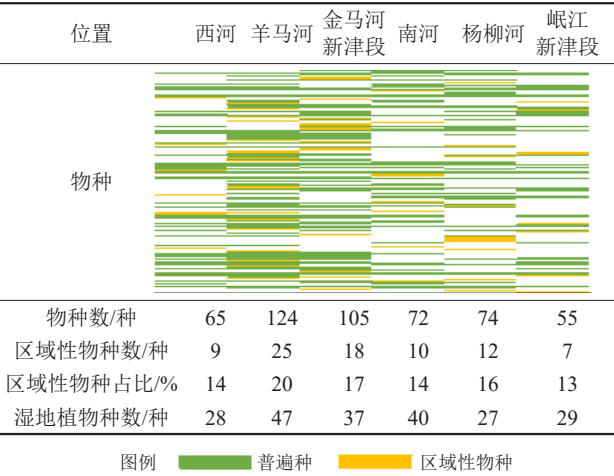


图 2 新津县各河流河岸带植物物种组成图谱及数量统计

Regional species refers to one species found only in one riparian zone during the survey

Fig.2 Plant species composition and abundance in the riparian zone of each surveyed river in Xinjin County

从表 5 分析结果看,新津河网内不同河流之间 Whittaker 指数(β_w)均较高(>0.5),Sorenson 指数(C_s)和 Jaccard 指数(C_j)均较低(0.09~0.38、0.05~0.20),表明河流之间物种组成相似性较低,其中岷江段与西南河、杨柳河间相似性均较低(C_j 分别为 0.05 和 0.08; C_s

表 2 新津县河网河岸带种子植物科的分布区类型

Tab.2 Area-types of spermatophyte families in the riparian zone of each surveyed river in Xinjin County

分布类型	西河	羊马河	金马河	南河	杨柳河	岷江	总科数	占比/%
1. 世界广布	17	22	20	15	16	17	24	61.54
2. 泛热带分布	5	7	6	4	4	4	11	28.21
3. 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布	1	0	1	0	0	0	1	2.56
8. 北温带分布	1	1	1	1	0	1	1	2.56
8-4. 北温带和南温带间断分布	2	2	2	2	2	1	2	5.13
合计							39	100

表 3 新津县河岸带种子植物属的分布区类型

Tab.3 Area-types of spermatophyte genera in the riparian zone of each surveyed river in Xinjin County

分布类型	西河	羊马河	金马河	南河	杨柳河	岷江	总属数	占比/%
1. 世界分布	13	19	20	13	13	16	29	25.89
2. 泛热带分布及其变型	12	16	15	13	10	9	29	25.89
3. 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布	0	1	1	0	1	0	1	0.89
4. 旧世界热带分布及其变型	1	4	2	1	0	1	5	4.46
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布	0	2	0	1	0	1	3	2.68
6. 热带亚洲至热带非洲分布及其变型	1	4	3	3	2	1	4	3.57
7. 热带亚洲分布及其变型	1	3	3	2	1	3	5	4.46
8. 北温带分布及其变型	9	12	11	7	9	7	15	13.39
9. 东亚及北美间断	2	1	2	1	1	1	3	2.68
10. 旧世界温带分布及其变型	3	4	6	2	4	3	11	9.82
11. 温带亚洲分布	2	2	1	1	1	2	3	2.68
14. 东亚分布	0	2	1	1	1	2	3	2.68
15. 中国特有分布	0	1	1	0	0	0	1	0.89
总计							112	100

表 4 新津县河网河岸带主要植物群落特征及分布

Tab.4 Characteristics and distribution of primary plant communities in the riparian zones of river network in Xinjin County

群落编号	群丛组成	伴生种	位置	生境特点	优势种 平均重要值
1	酸模+豆瓣菜+假稻 Ass. <i>Rumex acetosa</i> + <i>Nasturtium officinale</i> + <i>Leersia japonica</i>	龙葵(<i>Solanum nigrum</i>), 棒头草(<i>Polypogon fugax</i>), 石龙芮(<i>Ranunculus sceleratus</i>)	南河,杨柳河	河漫滩或较低阶地, 土壤湿润,周围为农地	0.45,0.22,0.14
2	鹅肠菜+假稻 Ass. <i>Myosoton aquaticum</i> + <i>Leersia japonica</i>	牛筋草(<i>Eleusine indica</i>),龙葵,石龙芮	南河,杨柳河	河漫滩,土壤湿润, 周围为农地	0.22,0.14
3	龙葵+棒头草+菵草 Ass. <i>Solanum nigrum</i> + <i>Polypogon fugax</i> + <i>Humulus scandens</i>	芥(<i>Capsella bursa-pastoris</i>), 野胡萝卜(<i>Daucus carota</i>), 小蓬草(<i>Conyza canadensis</i>)	羊马河,金马河,南河	河流阶地,距水较远	0.17,0.14,0.12
4	双穗雀稗+菵草 Ass. <i>Paspalum paspaloides</i> + <i>Humulus scandens</i>	水蓼(<i>Polygonum hydropiper</i>)	西河,羊马河,杨柳河	河漫滩或较低的阶地, 土壤湿润	0.22,0.11
5	菵草 Ass. <i>Humulus scandens</i>	双穗雀稗,狗牙根	西河,金马河,南河	河流阶地、距水较远	0.22
6	粉绿狐尾藻+双穗雀稗 Ass. <i>Myriophyllum aquaticum</i> + <i>Paspalum paspaloides</i>	水金凤,小苦荬(<i>Ixeridium dentatum</i>)	西河,羊马河	河漫滩,距水较近, 土壤湿润	0.24,0.19
7	水金凤+水芹 Ass. <i>Impatiens noli-tangere</i> + <i>Oenanthe javanica</i>	喜旱莲子草(<i>Alternanthera philoxeroides</i>), 假稻,无芒稗(<i>Echinochloa cru-sgalli</i>)	西河,羊马河、金马河	河漫滩,距水较近, 土壤湿润,土层较厚	0.29,0.17
8	绵毛酸模叶蓼+狗牙根 Ass. <i>Polygonum lapathifolium</i> + <i>Cynodon dactylon</i>	双穗雀稗,长芒稗(<i>Echinochloa caudata</i>)	金马河	河漫滩,土层较薄多为 砾石,距水较近	0.43,0.24
9	狗牙根+野豌豆 Ass. <i>Cynodon dactylon</i> + <i>Vicia sepium</i>	小蓬草,双穗雀稗	金马河,岷江	河流阶地,距水较远, 坡度较小	0.21,0.17
10	白茅+水芹 Ass. <i>Imperata cylindrical</i> + <i>Oenanthe javanica</i>	双穗雀稗	羊马河,金马河	距水较近,土壤湿润, 土层较厚	0.51,0.37
11	白茅 Ass. <i>Imperata cylindrical</i>	狗牙根,芦苇,雀稗 (<i>Paspalum thunbergii</i>)	羊马河,金马河	距水较近,土壤湿润	0.51
12	五节芒 Ass. <i>Miscanthus floridulus</i>	白茅,荻(<i>Triarrhena sacchariflora</i>)	羊马河,金马河	河岸阶地,坡度较大, 距水较远	0.34

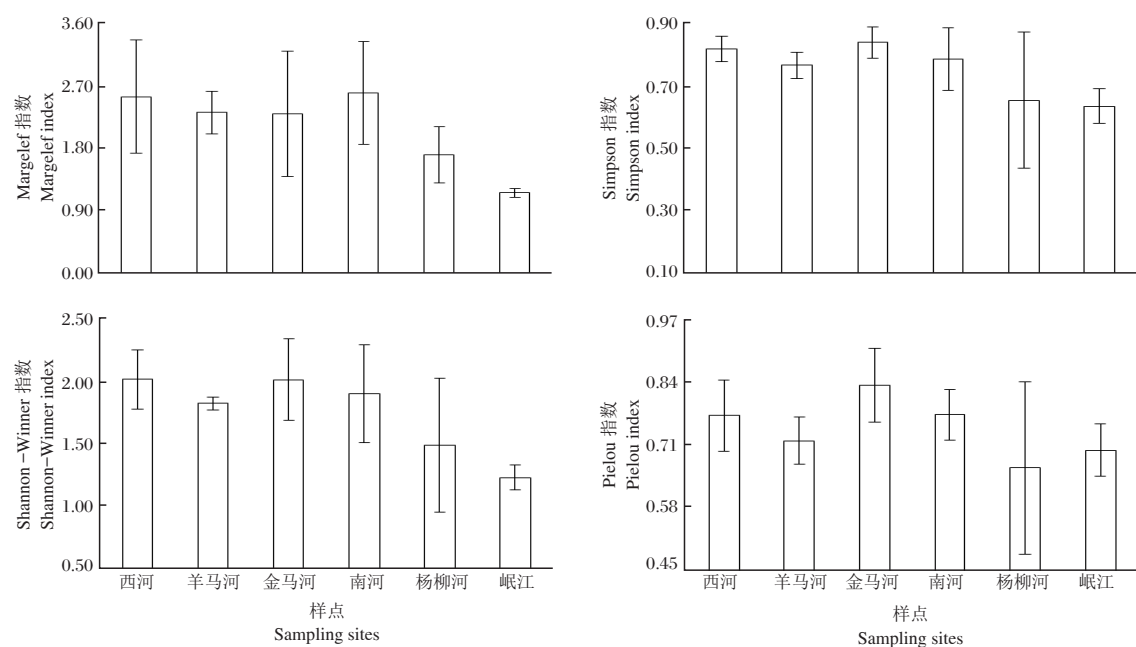


图4 新津县河网河岸带草本植物α-多样性的空间变化

Fig.4 Spatial variations of herbaceous plant communities α-diversity from river network riparian zones of Xinjin County

分别为0.09和0.16),而南河-杨柳河(C_j 为0.20, C_s 为0.38)、金马河-西河(C_j 为0.19, C_s 为0.35)相似性均较高。进一步分析Cody指数(β_c),该指数能够通过比较群落间新增或减少的物种,直观地反映群落间物种替代程度。本研究中,西河-金马河、金马河段-岷江段、南河-杨柳河的Cody指数均较小,表明这些河流间物种替代性较低,生境分化相类似;相反,南河、杨柳河与其他河流Cody指数较大,生境异质性较强。

3 讨论

3.1 河网河岸带能维持更高的物种丰富度

河岸带是生物多样性保护保育的关键生态区域(Burger,2000; Buijse et al, 2002)。本研究调查区域新津县境内河段众多,形成的河网河岸带系统共调查到维管束植物212种,物种丰度明显高于永定河(修晨等, 2014)、辉河(罗琰等,2016)、黄河中下游(赵清贺等,2016)等河段。调查区内草本植物占绝对优势,以菊科、禾本科植物为主,与大多河岸带物种结构相似(修晨等, 2014; 罗琰等,2016);同时,调查区单种科及单种属比重较大(均超过50%),具有寡种性特点,一方面受到调查范围小的限制,另一方面也表明该区域物种来源复杂。尽管地处同一生态区域,且河岸带环境开阔,受水媒、风媒传播的影响,但研究区域内岷江及各支流河段河岸带之间,在植物

物种组成和丰度(图2)、区系成分复杂性(表2)、群落类型构成等方面(表3)具有明显差异,植物群落相似性较低(表5),这些差异明显的河岸带构成的网络系统维持着更高的生物多样性。

研究表明,相对于单一河流,河网系统水动力条件多变,边界模糊,且平原河网地势低洼,结构更加复杂,形成滩涂、河心沙洲、支流河口、沼泽、河漫滩等永久性河流湿地、洪泛湿地等异质性生境(尹澄清等, 2015),对维持河岸带生物多样性有重要意义;而在河网生态系统中,河流的汇流改变了局部区域的空间异质性,物种间生态位重叠减少,能够提供更加复杂的生境,进一步促进物种多样性的提高(Osawa & Ushimaru,2010; Kuglerová et al,2014)。本研究中,受河流发育和人类活动的交互影响,6个不同河段之间生境构成上差异明显(表1)。对河流生境数量与物种丰度进行一元回归分析发现,物种丰度与生境类型正相关(图5),而与河岸带长度无显著关系,表明生境异质性的对单一河流的物种丰度具有主导作用。新津县的河网系统具有更高的生境异质性,对维持更高的物种丰富度具有重要意义。将新津县河网河岸带系统作为整体,其与新安江干流(杨文斌等,2013)、滹沱河(吴东丽等,2006)、黄河下游(赵清贺等, 2016)、永定河-海河干流(修晨等,2014)、东江干流(赵鸣飞等,2010)长度远超过本研究河段总长度的单一河流河岸带对比,单

位长度的河网河岸带植物物种数量更丰富,且湿生植物种类占比更大。从区系成分看,新津县境内河岸带网络植物区系成分复杂,进一步表明河网河岸带系统在区域自然景观和复杂生物生境中具有代表性。中小尺度的单一河流河岸带在长期演变和物种传播过程中,形成了相对均质化的河岸带生态系统(Osawa & Ushimaru,2010),因此支持的物种丰度较低;而对于小区域而言,从河网河岸带的整体视角进行恢复和保护可能具有重要价值。

表 5 新津县河网河岸带β-多样性指数

Tab.5 The β-diversity index of the riparian zone for each surveyed river in Xinjin County

指数	河流	西河	羊马河	金马河	南河	杨柳河	岷江
β_w	西河	0	0.64	0.58	0.63	0.63	0.76
	羊马河		0	0.64	0.62	0.62	0.73
	金马河			0	0.67	0.68	0.65
	南河				0	0.46	0.87
	杨柳河					0	0.77
	岷江						0
C_j	西河	1	0.14	0.19	0.14	0.13	0.09
	羊马河		1	0.14	0.15	0.14	0.10
	金马河			1	0.09	0.08	0.11
	南河				1	0.20	0.05
	杨柳河					1	0.08
	岷江						1
C_s	西河	1	0.28	0.35	0.27	0.26	0.17
	羊马河		1	0.28	0.28	0.28	0.20
	金马河			1	0.18	0.16	0.21
	南河				1	0.38	0.09
	杨柳河					1	0.16
	岷江						1
β_c	西河	-	9.06	7.21	9.01	8.48	7.95
	羊马河		-	8.55	9.32	8.78	8.23
	金马河			-	9.57	9.06	7.03
	南河				-	7.42	9.15
	杨柳河					-	7.79
	岷江						-

3.2 河网河岸带植物群落多样性特征及影响因素

本次调查区河网河岸带包括 12 个优势群丛类型(表 4),比多数河岸带的群落类型复杂(田自强等,2007; 杨文斌等, 2013; 陈明林等,2014; 张冬杰等,2016),这种群落组成的复杂性与本研究河岸带生境多样性密切相关(表 1)。不同河流之间优势群落也存在明显的差异。河岸带植物群落形成主要受到种源、生境因子以及人类活动影响(Naiman & Henri, 1997; 赵清贺等, 2016)。有学者认为河岸土壤种子库、周边高地以及上游不同类型河岸带群落是植被的主要种源(杨文斌等, 2013; 陈明林等,2014)。本研究缺乏对种子库的调查,原位种源的影响上解释力

受到限制,但不同河岸带周边高地植被类型受到人类活动的强烈影响,尤其是农田开垦导致河岸带出现了大量农田杂草群落,加之城镇区绿化以及湿地保护小区的人工引种,是造成河岸带植物群落差异的主要原因(表 1);此外,不同大小的河流上游河段的河岸带类型必然存在差异,可能是植物群落变异的潜在原因。生境因子被认为是物种多样性的基础,对小尺度群落结构与群落多样性具有重要影响。研究表明,自然河岸带植物群落分布受水分干扰、水陆界面的物理条件、地表起伏、坡度、底质类型等环境因子影响(Naiman & Henri, 1997)。本研究区为成都市重要的城乡结合部,农业活动和城镇建设显著改变了河岸带潜在种源及生境异质性,对河岸带群落具有重要影响,其中羊马河沿岸受湿地保护区建设及生态恢复工程影响,优势草本群落类型最多;同时,金马河河岸带较宽,在采沙活动得到控制后河岸带自然恢复良好,优势草本植物群落较多,且以自然湿生草本为主;而受农业活动干扰强烈的杨柳河和南河草本群落较单一,且伴有农田杂草占优势的特征。

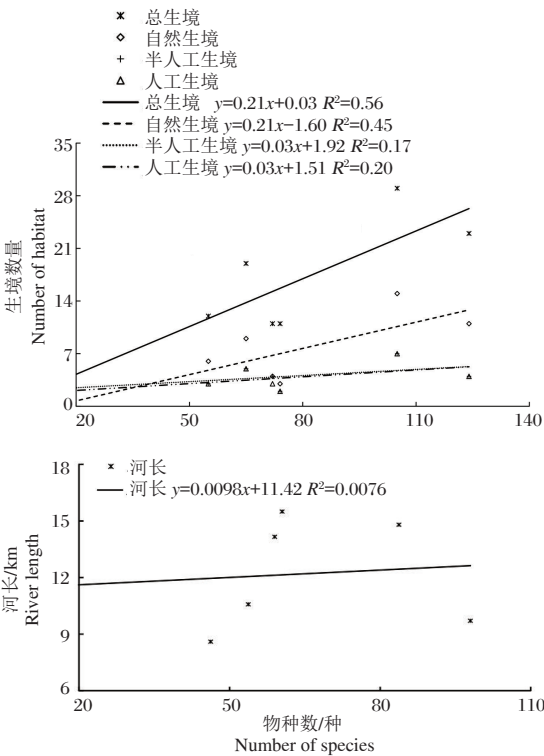


图 5 各河段物种数与生境类型数量及河段长度的回归分析
Fig.5 Regression analysis of the relations between the total number of species and habitat types and length of the surveyed river sections

不同河岸带优势群落的物种多样性、均匀度以及相似性不同(表 4,表 5,图 4),是维持区域物种多样性的重要基础。金马河和西河河岸带α-多样性均较

高(表1),且二者物种组成相似性较高而替代性较低。一方面,两河道均较宽、河岸冲积层较厚,加之水流较快,水文动态变化对生境有重塑作用(邓伟琼等, 2013),形成了众多沙洲、河漫滩、沙坑等复杂多变的自然生境;另一方面,金马河与西河均遭受人为采砂活动的干扰强烈,在河岸两侧形成了大量的沙堆、洼地、浅滩等微地形,随着人类活动叫停,这些复杂地形演化为半人工生境,进而维持植物多样性。与金马河段相比,下游的岷江河段 α -多样性显著低于前者,且群落类型简单,以狗牙根-野豌豆群落为主,主要是因为该河段位于新津县城附近,人类防洪筑堤措施导致生境退化,这与新安江干流的研究结论一致(杨文斌等, 2013);同时,比较羊马河与南河河岸带群落特征,发现二者 α -多样性相似,但优势群落差异较大,物种相似性低,替代性高。前者部分河段开展了人工湿地恢复工程,使得河岸带植物群落组成与其他河段不同(刘操等, 2007; 张冬杰等, 2016);后者则受周边高地农业活动影响较大,直接影响河岸带植物群落构成(郑忠明等, 2010);而且,同样受农业活动影响较大的杨柳河与南河河岸带物种组成具有较高的相似性,可见流域不同人类活动类型是河网河岸带群落构成异质性较高的主要原因。然而,过度的农业活动会导致河岸带本土群落的退化,取而代之的是农业杂草和外来入侵种,降低了河岸带湿地生态系统服务功能(李融等, 2011; 赫晓慧等, 2014)。总体而言,复杂的人类活动干扰和河流自然水文过程是影响新津县境内河岸带植物多样性、丰度、群落类型的主要因素。但从河网尺度看,这种干扰类型的复杂性反而增加了河岸带物种组成的相异性,进而支持了更高的物种多样性。因此,本研究认为河网河岸带系统的恢复和保护对复杂人类活动的负面影响具有较强的缓冲作用,在大范围生物多样性保护中应予以重视。

3.3 河网河岸带管理与物种多样性保护

通过实地调查,新津县河网河岸带湿地植物多样性的空间差异较大,自然河道特征与人类干扰可能是主要的驱动因素。研究表明,人为干扰强度增大,湿地植物丰富度、多样性呈降低趋势(简永兴等, 2000; 卢涛等, 2008);但也有研究认为干扰类型和强度的多样性能够提高生境异质性,促进湿地植物的丰富度和多样性提高(杨志焕等, 2005; Biswas & Mallik, 2010)。因此,在新津县河网湿地的修复中,协调河岸带的人类活动强度至关重要。金马河、西河的采挖活动促进了生境多样性,在严格控制的前提下,适当保留原来破碎的河岸带特征,有利于维持较高

的生物多样性。岷江河岸带可以有效利用滩涂湿地修建湿地公园,人工进行微地形塑造,从而改变生境单一化;南河、杨柳河的农业活动对河岸带湿地植物的物种、丰富度威胁较大,需严格控制农业用地的扩张,保留充足的河岸带缓冲区,为原生植物提供生长空间。受生境和干扰类型异质性的影响,不同河岸带之间群落组成相似性较低,成为维持河网河岸带物种多样性的关键。从县域尺度河网河岸带系统角度看,单一的河流河岸带在维持植物物种丰度、生物多样性方面差异显著,但不同河流之间生境特点、物种组成、区系成分等方面的异质性构成了河网河岸带生物多样性的基础。因此,河岸带网络系统的整体保护和恢复,对应对复杂人类活动干扰和区域生物多样性保护具有一定启示意义。

参考文献

- 陈明林, 文慧慧, 汪小平, 等, 2014. 安徽秋浦河源湿地植物物种多样性研究[J]. 湿地科学, 12(3): 369-373.
- 邓伟琼, 孙荣, 李修明, 等, 2013. 九龙江源头山地河流河岸带植物区系研究[J]. 植物科学学报, 31(5): 467-476.
- 方精云, 沈泽昊, 唐志尧, 等, 2004. “中国山地植物物种多样性调查计划”及若干技术规范[J]. 生物多样性, 12(1): 5-9.
- 符文超, 田昆, 肖德荣, 等, 2014. 滇西北高原入湖河口退化湿地生态修复效益分析[J]. 生态学报, 34(9): 2187-2194.
- 赫晓慧, 郑东东, 郭恒亮, 等, 2014. 郑州黄河湿地自然保护区植物物种多样性对人类活动的响应[J]. 湿地科学, 12(4): 459-463.
- 简永兴, 王建波, 何国庆, 等, 2000. 洞庭湖区三个湖泊水生植物多样性的比较研究[J]. 水生生物学报, 26(2): 160-167.
- 李融, 张庆忠, 姜炎彬, 等, 2011. 不同干扰下兴凯湖湿地植物群落的物种多样性研究[J]. 湿地科学, 9(2): 179-184.
- 刘操, 杜桂森, 黄炳彬, 等, 2007. 永定河水系人工湿地系统中的生物多样性与水质变化[J]. 生态学报, 27(9): 3670-3677.
- 娄彦景, 赵魁义, 马克, 2006. 洪河自然保护区典型湿地植物群落组成及物种多样性梯度变化[J]. 生态学报, 27(9): 3883-3891.
- 卢涛, 马克明, 倪红伟, 等, 2008. 三江平原不同强度干扰下湿地植物群落的物种组成和多样性变化[J]. 生态学报, 28(5): 1893-1900.
- 罗琰, 苏德荣, 吕世海, 等, 2016. 辉河湿地河岸带植物物种多样性与土壤因子的关系[J]. 湿地科学, 14(3): 396-402.
- 马克平, 1994. 生物群落多样性的测度方法: α 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 2(3): 162-168.
- 马克平, 刘灿然, 刘玉明, 1995. 生物多样性的测定 II. β 多样性[J]. 生物多样性, 3(1): 38-43.
- 田自强, 韩梅, 张雷, 2007. 西太湖河网区恢复与退化河岸带湿地

- 生态及水环境功能比较[J]. 生态学报, 27(7): 2812–2822.
- 吴东丽, 上官铁梁, 张金屯, 等, 2006. 滹沱河流域湿地植被的物种多样性研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 42(2): 195–199.
- 吴征镒, 侯学煜, 朱彦丞, 等, 1980. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社.
- 吴征镒, 周浙昆, 李德铎, 等, 2003. 世界种子植物科的分布区类型系统[J]. 云南植物研究, 25(3): 245–257.
- 修晨, 欧阳志云, 郑华, 2014. 北京永定河–海河干流河岸带植物的区系分析[J]. 生态学报, 34(6): 1535–1547.
- 杨文斌, 刘坤, 周守标, 2013. 安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性[J]. 生态学报, 33(5): 1433–1442.
- 杨志焕, 葛滢, 沈琪, 等, 2005. 亚热带人工湿地中配置植物与迁入植物多样性的季节变化[J]. 生物多样性, 13(6): 527–534.
- 尹澄清, 苏胜利, 张荣斌, 等, 2015. 以河网作为城市水源的污染问题和湿地净化[J]. 环境科学学报, 30(8): 1583–1586.
- 张冬杰, 王雪宏, 佟守正, 等, 2016. 松花江下游富锦段沿江恢复湿地植物多样性[J]. 湿地科学, 14(6): 883–887.
- 张建春, 彭补拙, 2001. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建[J]. 生态学报, 23(1): 56–63.
- 张潇月, 鱼舜尧, 李婷婷, 等, 2019. 金马河温江段河岸带不同生境下草本植物多样性和植物区系与土壤环境因子的关系[J]. 应用与环境生物学报, 25(4): 838–844.
- 赵鸣飞, 刘全儒, 康慕谊, 等, 2010. 东江干流河岸带植物群落类型分布格局研究[J]. 自然资源学报, 25(9): 1547–1556.
- 赵清贺, 马丽娇, 刘倩, 等, 2016. 黄河中下游典型河岸带植物物种多样性及其对环境的响应[J]. 生态学杂志, 34(5): 1325–1331.
- 郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等, 2010. 基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复[J]. 生态学报, 30(24): 7045–7054.
- Biswas S R, Mallik A U, 2010. Disturbance effects on species diversity and functional diversity in riparian and upland plant communities[J]. Ecology, 91(1): 28–35.
- Buijse A D, Coops H, Staras M, et al, 2002. Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe[J]. Freshwater Biology, 47(4): 889–907.
- Burger J, 2000. Landscapes, tourism, and conservation[J]. Science of the Total Environment, 249(1/3): 40–49.
- Futoshi N, Hiroyuki Y, 2005. Effects of pasture development on the ecological functions of riparian forests in Hokkaido in northern Japan[J]. Ecological Engineering, 24(5): 539–550.
- Gregory S V, Swanson F J, Mckee W A, et al, 2010. An ecosystem perspective of riparian zones focus on links between land and water[J]. Bioscience, 41(8): 540–551.
- He F, Legendre P, Lafrankie J, et al, 1996. Spatial pattern of diversity in a tropical rainforest in Malaysia[J]. Journal of Biogeography, 23: 57–74.
- Kuglerová, L, Jansson R, Sponseller R A, et al, 2014. Local and regional processes determine plant species richness in a river–network metacommunity[J]. Ecology, 96(2): 381–391.
- Naiman R J, Decamps H, Pollock M, 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity[J]. Ecological Applications, 3(2): 209–212.
- Naiman R J, Henri D, 1997. The ecology of interfaces: riparian zones[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 28(1): 1–64.
- Naiman R J, Henri D, Johnston P C A, 1988. The potential importance of boundaries of fluvial ecosystems[J]. Journal of the North American Benthological Society, 7(4): 289–306.
- Osawa T, Ushimaru M A, 2010. River confluences enhance riparian plant species diversity[J]. Plant Ecology, 209(1): 95–108.
- Richardson D M, Holmes P M, Esler K J, et al, 2007. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects[J]. Diversity and Distributions, 13(1): 126–139.

(责任编辑 万月华)

Species Composition and Diversity of Riparian Vegetation in the River Network of Xinjin County, Chengdu

LIU Ting-ting^{1,2}, WANG Xiao-feng^{1,3}, YUAN Xing-zhong^{1,4}, GONG Xiao-jie¹, HOU Chun-li^{1,4}

(1. Chongqing Key Laboratory of Wetland Science Research of the Upper Yangtze River,
Chongqing 401331, P.R.China;

2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University,
Shanghai 200241, P.R.China;

3. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, P.R.China;

4. Faculty of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400030, P.R.China)

Abstract: The riparian zones of rivers, acting both as corridors and buffer zones, provide important habitat for animals and plants and support high biodiversity. Compared to a single river, the biotopes of a river network are more complex, maintain higher biodiversity and provide a node for conserving and restoring regional biodiversity. In this investigation, the river network in Xinjin County of Chengdu City was selected as a case study. Vegetation community structure and biodiversity in the riparian zones were characterized, focusing on species composition, floral characteristics, community type and diversity. The aim was to provide a reference for the protection and rational utilization of river network riparian zones, and for conserving and enhancing biodiversity. The river network in Xinjin County is located in the middle reaches of Minjiang River, including the Jinma section and its primary tributaries, the Yangma, Yangliu, Nanhe and Xihe Rivers. Field investigation of the vegetation community was carried out in June of 2018, and a vegetation belt (30 m×500 m) was set for each surveyed river and included 15 sample sites and 43 sample plots (1 m×1 m) in the five vegetation belts. Vegetation species, height and coverage were recorded, and community characteristics and distribution patterns were analyzed. A total of 212 species, belonging to 159 genera and 64 families, were recorded, with dominance by herbaceous plants, especially species of Compositae and Gramineae. Community abundance and species composition in the riparian zones presented significant differences because of habitat heterogeneity and human disturbance. Species composition in the riparian zones of the Yangma and Jinma Rivers were the most complex, and the number of plant species reached 75 in the riparian zone of only Yangma River, accounting for 35.4% of the total species. In terms of system integrity, the vegetation community of the river network system was more abundant and more complex than those for any single river, with higher species richness and a larger proportion of wetland plants. Due to habitat diversity, the floral composition of the river network was complex, including three primary categories: tropical, temperate, and cosmopolitan. Two way indicator species analysis (TWINSpan) showed that there were 12 dominant vegetation community types in the study area: 7–8 along the Jinma and Yangma Rivers, 3–4 along the Xihe, Nanhe and Yangliu Rivers, and only one along the lower Minjiang River (the riparian zone most disturbed by human activities). Plant diversity was highest along the Jinma and Xihe Rivers, followed by the Nanhe and Yangma Rivers, and was lowest along the Yangliu and Minjiang Rivers. Vegetation community similarity among surveyed rivers was low and this finding is significant for conserving the biodiversity of this region.

Key words: river network; plant community; biodiversity; Xinjin County