

# 再生水补水的北京典型河流滨岸带植被分布特征及多样性研究

张 羲<sup>1</sup>, 于一雷<sup>2,3</sup>, 李胜男<sup>3</sup>, 徐卫刚<sup>3</sup>, 韦 玮<sup>3</sup>, 郝金虎<sup>3</sup>

(1. 中化地质矿山总局地质研究院, 北京 100101;

2. 中国科学院雄安创新研究院, 河北 雄安 071899;

3. 中国林业科学研究院生态保护与修复研究所, 北京 100091)

**摘要:**为探讨再生水补水河流滨岸带植物分布特征及多样性,2019年7月对永定河和潮白河自然河水和再生水补水滨岸带的典型区域开展植被调查,并基于重要值、多样性指数和聚类分析等统计方法对滨岸带植物物种的组成、分布特征、多样性指数及生活型进行研究。结果表明:(1)研究区内共发现34科、73属、90种植物,其中永定河自然段为19科、40属、47种,永定河再生水补水段19科、34属、37种,潮白河自然段为24科、43属、49种,潮白河再生水补水段为20科、36属、44种,均以菊科、禾本科和莎草科的物种数较多,芦苇、菹草和狗尾草为自然河滨岸带常见植物,芦苇和香蒲为再生水补水滨岸带常见植物;(2)聚类分析表明,4个调查区内的群落可划分为9种类型:芦苇+菹草+香蒲群落、菹草+芦苇群落、芦苇+香蒲+三叶鬼针草群落、香蒲+芦苇群落、芦苇+狗尾草群落、香附子+芦苇群落、芦苇+褐穗莎草群落、芦苇+香蒲+香附子群落、芦苇+香蒲群落;(3)再生水补水滨岸带植物物种多样性指数(物种丰富度、Shannon-Wiener、Pielou、Simpson)均低于自然岸带,但其植物平均株高和总盖度均高于自然岸带;(4)调查区内各种植物的生活型中,自然滨岸带植物生活型较再生水补水岸带丰富,但两者均以一年生草本和多年生草本为主要优势生活型。本研究可对再生水补水滨岸带植被恢复与重建以及物种多样性保护提供数据支持。

**关键词:**再生水;多样性指数;植物群落;生活型;潮白河;永定河

**中图分类号:**X171 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2022)04-0045-11

近几十年来,在气候变化和人类活动的影响下,华北地区的地表径流明显减少,大量水资源被消耗,由于不能及时补给,导致众多河流出现断流和干涸,其中包括作为首都的北京地区(刘昌明,2002;于一雷等,2017)。再生水是废水经过深度净化工艺后达到水质排放标准,进而用来满足用水需求,并可重复用于生产和生活的一种相对稳定的潜在水资源(Chen et al,2013);由于其来源广泛、水量稳定、便于收集、易于处理等优点而被广泛应用(Nicolás et al,2016)。目前,再生水作为北京的第二水源,利用率已达65%以上,其中河湖景观用水高达4亿m<sup>3</sup>(于江杰,2019)。再生水的有效利用,不仅补充了河湖生态用水,缓解了城市河湖生态危机,也在河流湿地恢复与重建等方面提供了重要的生态支撑(Yu et al,2017)。

河流滨岸带是在陆地与水生生态系统之间进行物质、能量和信息交换的生态交错带,具有独特的空间维度结构、生态服务功能和明显的边缘效应,同时也受到水环境的强烈影响(Manning et al,2020);而植被是河流滨岸带的重要组成部分,也是衡量动植物栖息地状况的指标(Czortek et al,2019);其不仅能够反映出滨岸带的自然性,还可以呈现水文水环境变化背景下植物的分布特征(Han et al,2020);且植物物种多样性可以有效指示其群落的组成、结构异质性及与生态环境的关系(Manashi et al,2020)。

目前,关于再生水灌溉的相关研究较多,主要集中在再生水灌溉对植物的生长特性、抗逆生理和光合作用等理化指标的影响(David et al,2019a),以及植物多样性对森林、草原、沙地、湿地系统内土壤理化性质等环境因子的响应(韩洋等,2020)。然而,关于再生水补水恢复河流滨岸带植被的相关研究较少,仅见于补水后河流水化学和水质的时空演化(Yu et al,2017;2020)。河流滨岸带植被具有防止水土流失、保障滨岸带水质、维持生物多样性、保育生物栖息地等重要的生态功能(Maxime et al,2020)。因此,亟需开展再生水恢复河流滨岸带的植物分布特征及多样性研究。本文选择再生水补水的典型河流永定河(三家店-卢沟桥)和潮白河(顺义段),

收稿日期:2020-12-16 修回日期:2022-05-09

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费留学支持计划项目(CAFYBB2019GC001-22)和重点项目(CAFYBB2017ZA007);国家自然科学基金(41601037)。

作者简介:张羲,1992年生,女,硕士研究生,研究方向为湿地生态学。E-mail:wetlandzy@126.com

通信作者:于一雷,1981年生,男,副研究员,主要从事湿地水文水循环研究。E-mail:yuyilei1222@126.com

开展植物的物种组成、分布特征、多样性指数及生活型调查研究, 以期为滨岸带植物的修复与重建、物种多样性保护提供基础数据和科学支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

永定河是海河水系最长的河流, 北京境内流域面积约 3 200 km<sup>2</sup>, 占总流域面积的 6.7%, 全长 747 km, 其中北京段长约 170 km。永定河北京段处于东部湿润区和西部干旱区之间, 大陆性气候, 年均降雨量 556~560 mm, 多集中在 6~9 月, 年蒸发量约 1 890 mm (门头沟站), 地势北高南低。其中, 三家店水库以上干流为自然山峡段(上游), 三家店水库至卢沟桥为再生水补水段(中游), 河道长约 17 km。水库以下河段自 20 世纪 80 年代以来常年断流, 河床裸露。2010 年实施永定河绿色生态发展带工程, 2012 年完成长约 18.4 km 的再生水河道生态修复, 形成水面约 36 hm<sup>2</sup>, 恢复了“溪流-湖泊-湿地”连通的稳定生态系统(于一雷等, 2017; Yu et al, 2017)。

潮白河是北京市第二大河流, 属海河水系五大河之一, 其上游由东部的潮河与西部的白河组成, 两河在密云县河槽村汇合而成潮白河, 自密云水库以下市境内流域面积 5 613 km<sup>2</sup>, 干流河道长约 84.5 km。河流处于半湿润和半干旱的华北平原, 降水多集中在 6~9 月, 占全年降水量的 66%, 其他月份降水量相对较少, 属河流枯水期。潮白河向阳闸以上为自然段, 向阳闸至河南村闸桥为再生水补水段, 河道长约 7.3 km; 在河段补水前长期干涸、常年断流。为了恢复并改善河道生态环境, 2007 年底, 北京市实施并完成了引温济潮工程, 将温榆河污水处理后通过地下管道调入减河, 自流进入潮白河(Yu et al, 2020; 夏绮文等, 2021)。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 样点设置及调查方法** 根据《野生植物资源调查技术规程》(LY/T 1820-2009), 开展潮白河和永定河滨岸带的植被调查。由于再生水补水前滨岸带植物多样性已无从考究, 为充分调查研究再生水补水河流滨岸带植被特征, 同时选取潮白河和永定河的自然滨岸带进行植被调查, 从而进行对比分析。

2019 年 7 月, 基于 GPS 记录调查路线, 在潮白河和永定河的自然滨岸带以及再生水补水段岸带共计设置 18 个调查样点。其中, 以 A 表示永定河自然滨岸带, 3 个调查样点分别记为 1~3; 以 B 表示永定河再生水补水滨岸带(三家店水库至卢沟桥), 6 个调查样

点分别记为 4~9; 以 C 表示潮白河自然滨岸带, 3 个调查样点分别记为 10~12; 以 D 表示潮白河再生水补水滨岸带(向阳闸至河南村闸桥), 6 个调查样点分别记为 13~18。调查样点分布详见图 1。

在每个样点沿滨岸带随机设置 5 个 20 m×5 m 的连续样地, 并在该样地内沿对角线方向设置 5 个 1 m×1 m 的小样方。在研究区共设置 4 个调查区, 其中包含 90 个 20 m×5 m 的样地和 450 个 1 m×1 m 的草本调查样方。主要调查内容包括植物种类、植物生活型、植株盖度、多度和平均高度及群落分布的环境特征等, 参考相关文献进行植物物种鉴定(贺士元和刑其华, 1984; 吴征镒和 Raven, 2003)。

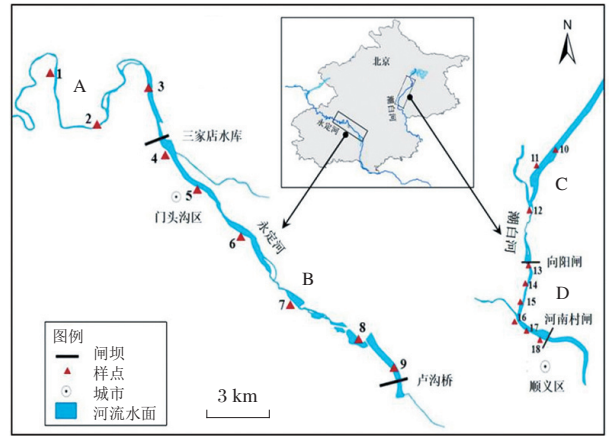


图 1 研究区及采样点

Fig. 1 Location of the study area and the sampling sites

**1.2.2 重要值和植物物种多样性指数计算** 重要值是研究某个物种在群落中地位和作用的综合数量指标, 其大小是确定优势种和建群种的重要依据。植物多样性描述指标包括植物株高(cm)、总盖度(%)及多样性指数; 其中, 植物多样性指数包括 Shannon-Wiener 多样性( $H$ )、Simpson 优势度( $D$ )、Pielou 均匀度( $E$ ) 和 Patrick 丰富度(每个样方的种数)(雷波等, 2014; 张义等, 2021)。计算公式如下:

$$P_i = 100(D_r + P_r + F_r) / 3 \quad (1)$$

$$H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$D = \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (3)$$

$$E = H / \ln S \quad (4)$$

式中:  $P_i$  指第  $i$  种植物的重要值,  $D_r$  为相对多度,  $P_r$  为相对盖度,  $F_r$  为相对频度,  $S$  为样方内出现的所有植物种类个数。

**1.2.3 数据处理** 通过 Excel 2010 进行基础数据处理, 采用 Origin 2020 和 Arcgis 10.7 绘图, SPSS 24.0 完成单因素方差检验(ANOVA), ward 最小方差法聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物种类构成及分布特征

不同区域的植物组成见表1和表2。永定河段调查区内共发现植物26科、54属、63种,其中自然滨岸带发现19科、40属、47种,再生水补水滨岸带发现19科、34属、37种;潮白河调查区内共发现植物31科、60属、67种,其中自然滨岸带发现24科、41属、49种,再生水补水滨岸带发现21科、36属、44种。在4个调查区内均未发现大科、大属和中属级别植物,单科单属居多,其中永定河自然段73.68%的植物为单科、85%为单属,永定河再生水补水段63.2%的植物为单科、88.24%为单属。

表1 不同调查区域内植物科级组成

Tab.1 Family composition of the plant community in different investigation areas

科级	属数	永定河				潮白河			
		自然滨岸带		再生水滨岸带		自然滨岸带		再生水滨岸带	
		科	占比/%	科	占比/%	科	占比/%	科	占比/%
大科	≥18	0	0	0	0	0	0	0	0
中科	6~17	2	10.53	1	5.26	2	8.33	1	5
小科	2~5	3	15.79	6	31.60	5	20.80	5	24
单科	1	14	73.68	12	63.20	17	70.80	15	71

在4个调查区域内共发现有34科、73属、90种植物(表3),其中菊科类植物种(23种)、属数(17属)最为丰富,其次是莎草科(4属、9种)和禾本科(7属、8种),以上3科的植物种数占总数的45%,单科单属单种植物占总植物种数的20%。

表2 不同调查区域内植物属级组成

Tab.2 Genera composition of plant community in different investigation areas

属级	种数	永定河				潮白河			
		自然滨岸带		再生水滨岸带		自然滨岸带		再生水滨岸带	
		属数	占比/%	属数	占比/%	属数	占比/%	属数	占比/%
大属	≥10	0	0	0	0	0	0	0	0
中属	5~9	0	0	0	0	0	0	0	0
小属	2~4	6	15.00	4	11.76	5	12.20	7	23.33
单属	1	34	85.00	30	88.24	36	87.80	29	76.67

表3 不同调查区域内植物种类和重要值

Tab.3 Species composition and their corresponding importance in the plant community of the four investigation areas

科	属	种	不同调查区域的重要值			
			A	B	C	D
禾本 Gramineae	芦苇属 <i>Phragmites</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	0.72	0.84	0.69	0.81
香蒲 Typhaceae	香蒲属 <i>Typha</i>	香蒲 <i>Typha orientalis</i>	0.38	0.71	0.35	0.66
桑科 Moraceae	葎草属 <i>Humulus</i>	葎草 <i>Humulus scandens</i>	0.56	0.49	0.38	0.37
禾本 Gramineae	狗尾草属 <i>Setaria</i>	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	0.42	0.38	0.51	0.52
蓼 Polygonaceae	蓼属 <i>Polygonum</i>	酸膜叶蓼 <i>Polygonum lapathifolium</i>	-	0.40	0.27	0.47
莎草 Cyperaceae	莎草属 <i>Cyperus</i>	香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	-	-	0.49	0.54
菊科 Compositae	鬼针草属 <i>Bidens</i>	三叶鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	0.31	0.43	0.33	0.17
萝藦科 Asclepiadaceae	萝藦属 <i>Metaplexis</i>	萝藦 <i>Metaplexis japonica</i>	0.34	0.25	0.40	0.26
菊科 Compositae	苍耳属 <i>Xanthium</i>	苍耳 <i>Xanthium strumarium</i>	0.48	0.36	0.23	0.18
菊科 Compositae	白酒草属 <i>Conyza</i>	小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i>	0.13	0.24	0.10	0.31
禾本科 Gramineae	马唐属 <i>Digitaria</i>	马唐 <i>Digitaria ischaemum</i>	0.46	0.07	0.18	0.11
鸢尾科 Iridaceae	鸢尾属 <i>Iris</i>	黄花鸢尾 <i>Iris wilsonii</i>	-	0.39	-	0.19
莎草科 Cyperaceae	水莎草属 <i>Juncellus</i>	水莎草 <i>Juncellus serotinus</i>	0.16	0.25	0.21	0.14
车前科 Plantaginaceae	车前属 <i>Plantago</i>	车前 <i>Plantago asiatica</i>	0.20	0.36	-	0.05
蓼科 Polygonaceae	蒺藜属 <i>Polygonum</i>	红蓼 <i>Polygonum orientale</i>	0.12	0.28	0.05	0.23
伞形科 Apiaceae	水芹属 <i>Oenanthe</i>	水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	-	0.22	0.21	0.24
豆科 Leguminosae	大豆属 <i>Glycine</i>	野大豆 <i>Glycine soja</i>	-	0.24	0.25	0.12

续表3

科	属	种	不同调查区域的重要值			
			A	B	C	D
藜科 Chenopodiaceae	藜属 <i>Chenopodium</i>	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	0.36	-	0.14	0.06
千屈菜科 Lythraceae	千屈菜属 <i>Lythrum</i>	千屈菜 <i>Lythrum salicaria</i>	-	0.31	0.06	0.07
菊科 Compositae	蒿属 <i>Artemisia</i>	艾蒿 <i>Artemisia argyi</i>	0.20	0.12	0.12	0.09
禾本科 Gramineae	稗属 <i>Echinochloa</i>	长芒稗 <i>Echinochloa caudata</i>	0.10	-	0.16	0.23
莎草科 Cyperaceae	蔗草属 <i>Scirpus</i>	三棱水葱 <i>Schoenoplectus triqueter</i>	-	0.26	-	0.11
菊科 Compositae	旋覆花属 <i>Inula</i>	旋覆花 <i>Inula japonica</i>	0.21	0.14	-	0.10
莎草科 Cyperaceae	蔗草属 <i>Scirpus</i>	水葱 <i>Scirpus validus</i>	-	-	0.40	0.05
禾本科 Gramineae	稗属 <i>Eleusine</i>	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	0.07	0.05	0.33	-
禾本科 Gramineae	稗属 <i>Echinochloa</i>	稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	0.05	-	0.21	0.18
菊科 Compositae	蒿属 <i>Artemisia</i>	黄花蒿 <i>Artemisia annua</i>	0.05	-	0.38	-
菊科 Compositae	薊属 <i>Cirsium</i>	刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i>	0.26	0.05	-	0.10
菊科 Compositae	蒲公英属 <i>Taraxacum</i>	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.22	-	-	0.14
莎草科 Cyperaceae	蔗草属 <i>Scirpus</i>	扁秆蔗草 <i>Scirpus planiculmis</i>	-	0.28	-	-
旋花科 Convolvulaceae	牵牛属 <i>Pharbitis</i>	圆叶牵牛 <i>Pharbitis purpurea</i>	0.21	0.12	-	-
葫芦科 Cucurbitaceae	盒子草属 <i>Actinostemma</i>	盒子草 <i>Actinostemma tenerum</i>	-	-	0.13	0.18
菊科 Compositae	泥胡菜属 <i>Hemistepta</i>	泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i>	0.28	-	-	0.03
锦葵科 Malvaceae	苘麻属 <i>Abutilon</i>	苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	-	-	0.28	-
茜草科 Rubiaceae	茜草属 <i>Rubia</i>	茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	-	-	0.23	0.04
茜草科 Rubiaceae	拉拉藤属 <i>Galium</i>	猪殃殃 <i>Galium aparine</i>	-	-	0.27	-
紫草科 Boraginaceae	附地菜属 <i>Trigonotis</i>	附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i>	0.12	-	0.07	0.05
莎草科 Cyperaceae	莎草属 <i>Cyperus</i>	褐穗莎草 <i>Cyperus fuscus</i>	-	-	0.19	0.05
菊科 Compositae	豚草属 <i>Ambrosia</i>	三叶裂豚草 <i>Ambrosia trifida</i>	-	0.24	-	-
蔷薇科 Rosaceae	委陵菜属 <i>Potentilla</i>	朝天委陵菜 <i>Potentilla supina</i>	0.06	0.18	-	-
藜科 Chenopodiaceae	藜属 <i>Chenopodium</i>	藜 <i>Chenopodium album</i>	0.17	-	-	0.06
莎草科 Cyperaceae	莎草属 <i>Cyperus</i>	头状穗莎草 <i>Cyperus glomeratus</i>	-	-	-	0.22
菊科 Compositae	牛膝菊属 <i>Galinsoga</i>	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>	0.17	-	0.05	-
莎草科 Cyperaceae	莎草属 <i>Cyperus</i>	碎米莎草 <i>Cyperus iria</i>	0.07	0.15	-	-
玄参科 Scrophulariaceae	毛地黄属 <i>Digitalis</i>	毛地黄 <i>Digitalis purpurea</i>	0.21	-	-	-
苋科 Amaranthaceae	苋属 <i>Amaranthus</i>	苋菜 <i>Amaranthus tricolor</i>	0.10	-	0.10	-
大戟科 Euphorbiaceae	大戟属 <i>Euphorbia</i>	地锦草 <i>Euphorbia humifusa</i>	-	-	0.20	-
禾本科 Gramineae	荩草属 <i>Arthraxon</i>	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	-	0.06	-	0.12
苋科 Amaranthaceae	莲子草属 <i>Alternanthera</i>	空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	-	-	-	0.18
菊科 Compositae	山莴苣属 <i>Lagedium</i>	山莴苣 <i>Lagedium sibiricum</i>	0.05	0.03	0.10	-
菊科 Compositae	蒿属 <i>Artemisia</i>	茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i>	0.07	-	0.07	0.03
大戟科 Euphorbiaceae	铁苋菜属 <i>Acalypha</i>	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	-	0.07	0.10	-
堇菜科 Violaceae	堇菜属 <i>Viola</i>	紫花地丁 <i>Viola philippica</i>	0.16	-	-	-
唇形科 Labiatae	水棘针属 <i>Amethystea</i>	水棘针 <i>Amethystea caerulea</i>	-	0.08	-	0.05
莎草科 Cyperaceae	荸荠属 <i>Scabrousscale</i>	针蔺 <i>Scabrousscale spikesedge</i>	-	0.13	-	-
车前科 Plantaginaceae	车前属 <i>Plantago</i>	大车前 <i>Plantago major</i>	-	0.13	-	-
木贼科 Equisetaceae	木贼属 <i>Hippochaete</i>	木贼 <i>Hippochaete hiemale</i>	-	-	0.11	-
菊科 Compositae	紫菀属 <i>Aster</i>	紫菀 <i>Aster tataricus</i>	0.11	-	-	-
蓼科 Polygonaceae	酸模属 <i>Rumex</i>	皱叶酸模 <i>Rumex crispus</i>	0.07	-	-	0.05
唇形科 Labiatae	薄荷属 <i>Mentha</i>	薄荷 <i>Mentha haplocalyx</i>	-	-	0.11	-
十字花科 Cruciferae	亚麻芥属 <i>Camelina</i>	球果蔊菜 <i>Rorippa globosa</i>	-	-	-	0.11
藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	0.11	-	-	-
十字花科 Cruciferae	蔊菜属 <i>Rorippa</i>	蔊菜 <i>Rorippa indica</i>	-	-	0.10	-
马齿苋科 Portulacaceae	马齿苋属 <i>Portulaca</i>	马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	0.05	0.05	-	-

续表3

科	属	种	不同调查区域的重要值			
			A	B	C	D
菊科 Compositae	苦苣菜属 <i>Sonchus</i>	苣荬菜 <i>Sonchus arvensis</i>	0.05	-	0.05	-
禾本科 Gramineae	白茅属 <i>Imperata</i>	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	0.09	-	-	-
夹竹桃科 Apocynaceae	鹅绒藤属 <i>Cynanchum</i>	鹅绒藤 <i>Cynanchum chinense</i>	-	0.04	-	0.06
萝藦科 Asclepiadaceae	杠柳属 <i>Periploca</i>	杠柳 <i>Periploca sepium</i>	-	-	0.08	-
苋科 Amaranthaceae	苋属 <i>Amaranthus</i>	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	-	-	0.07	-
菊科 Compositae	鬼针草属 <i>Bidens</i>	婆婆针 <i>Bidens bipinnata</i>	-	-	-	0.06
菊科 Compositae	松香草属 <i>Silphium</i>	串叶松香草 <i>Silphium perfoliatum</i>	-	-	0.06	-
菊科 Compositae	蒿属 <i>Artemisia</i>	青蒿 <i>Artemisia carvifolia</i>	-	0.06	-	-
马鞭草科 Verbenaceae	牡荆属 <i>Vitex</i>	荆条 <i>Vitex negundo</i>	0.06	-	-	-
藜科 Chenopodiaceae	地肤属 <i>Kochia</i>	地肤 <i>Kochia scoparia</i>	0.06	-	-	-
菊科 Compositae	紫菀属 <i>Aster</i>	钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>	0.06	-	-	-
十字花科 Cruciferae	芥属 <i>Capsella</i>	芡苢菜 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	0.06	-	-	-
旋花科 Convolvulaceae	打碗花属 <i>Calystegia</i>	打碗花 <i>Calystegia hederacea</i>	0.06	-	-	-
木贼科 Equisetaceae	节节菜属 <i>Equisetum</i>	节节草 <i>Equisetum ramosissimum</i>	-	-	0.06	-
酢浆草科 Oxalidaceae	酢浆草属 <i>Oxalis</i>	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	-	-	0.06	-
旋花科 Convolvulaceae	牵牛属 <i>Pharbitis</i>	裂叶牵牛 <i>Pharbitis nil</i>	0.05	-	-	-
唇形科 Labiatae	夏至草属 <i>Lagopsis</i>	夏至草 <i>Lagopsis supina</i>	0.05	-	-	-
菊科 Compositae	假还阳参属 <i>Crepidiastrum</i>	假还阳参 <i>Crepidiastrum lanceolatum</i>	0.05	-	-	-
菊科 Compositae	蛇目菊属 <i>Sanvitalia</i>	蛇目菊 <i>Sanvitalia procumbens</i>	-	-	0.05	-
豆科 Leguminosae	苜蓿属 <i>Medicago</i>	紫苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	-	0.05	-	-
大戟科 Euphorbiaceae	大戟属 <i>Euphorbia</i>	泽漆 <i>Euphorbia helioscopia</i>	-	-	0.05	-
牻牛儿苗科 Geraniaceae	老鹳草属 <i>Geranium</i>	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>	-	-	0.05	-
罂粟科 Papaveraceae	白屈菜属 <i>Chelidonium</i>	白屈菜 <i>Chelidonium majus</i>	-	-	0.05	-
堇菜科 Violaceae	堇菜科属 <i>Viola</i>	早开堇菜 <i>Viola prionantha</i>	-	-	0.05	-
菊科 Compositae	蓟属 <i>Cirsium</i>	狼把草 <i>Bidens tripartita</i>	-	-	-	0.04
菊科 Compositae	翅果菊属 <i>Pterocypsela</i>	翅果菊 <i>Pterocypsela indica</i>	-	-	-	0.04
合计/种			47	37	49	44

不同调查区内植物物种数丰富度不同,其中永定河自然滨岸带、永定河再生水补水滨岸带、潮白河自然滨岸带、潮白河再生水补水滨岸带,植物物种数分别为47、39、49、44个,可见自然滨岸带比再生水补水滨岸带植物物种丰富度高。

不同出现频率范围内植物物种数见图2。4个调查区(A~D)均以出现频率5%~15%的植物种类数最多,分别占据该调查区总数的40%、48.6%、44.9%、50%;出现频率15%~25%的植物种类数次之,分别占25.5%、29.7%、22.4%、21.1%;出现频率大于45%的植物种类极少,其中A区4种(芦苇、菵草、灰绿藜、苍耳),B区5种(芦苇、三叶鬼针草、香蒲、车前、菵草),C区3种(芦苇、狗尾草、菵草),D区3种(芦苇、香蒲、酸模叶蓼)。可见不同调查区域内大多数植物出现频率较低,仅有少部分植物常出现。其中,芦苇、菵草、狗尾草、灰绿藜、苍耳为自然滨岸带常见植物;芦苇、香蒲、三叶鬼针草、车前、菵草、酸模叶蓼为再生水补水段常见植物,并且芦苇在2种类型调查区内均为常出现植物,香蒲仅在2条

河流的再生水补水滨岸带为常见植物。

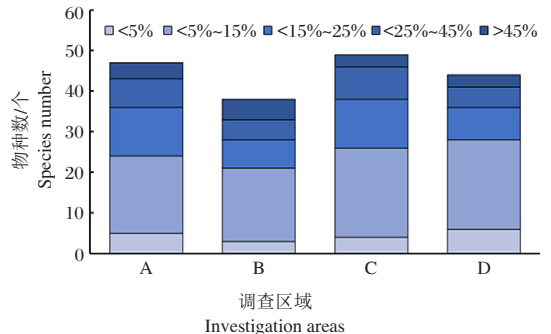


图2 不同出现频率范围各调查区域的植物物种数  
Fig.2 Vegetation species number and occurrence frequency in the four investigation areas (A-D)

### 2.2 植物群落分布特征

将调查区内各样点重要值聚类,得出4个调查区的样点共聚为9组群落类型(图3)。采用优势种和亚优势种作为分类组内的建群种,分别用群落I~IX为各个分类组命名。

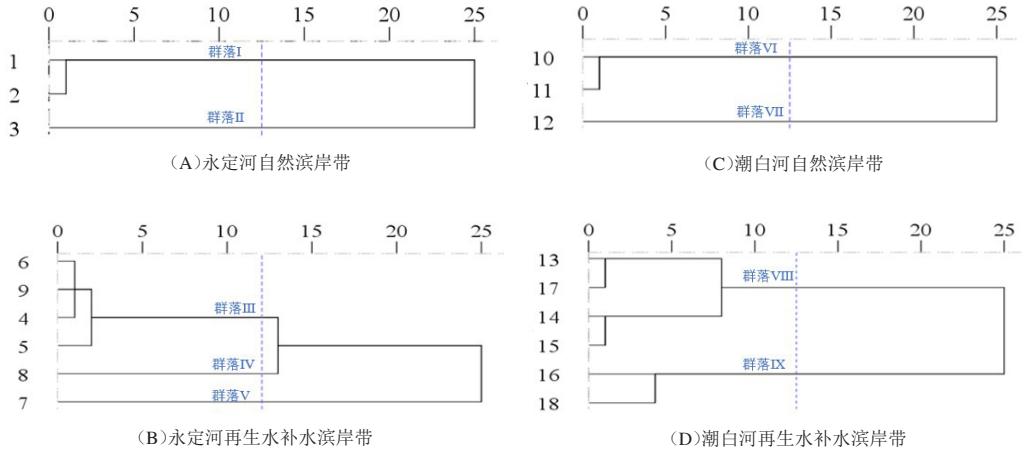


图 3 不同调查区域(A~D)样点植物群落组聚类

Fig.3 Cluster diagram of the 18 sampling sites based on the plant groups in the four investigation areas (A~D)

群落 I: 芦苇+菹草+香蒲群落, 包含样点 1、2, 为永定河自然滨岸带, 分布在山水居度假村和喜河湾公园附近。其中, 芦苇平均高度为 138.15 cm, 盖度为 35%; 菹草平均高度为 55.65 cm, 盖度为 12.5%; 香蒲平均高度为 78.65 cm, 盖度为 8.5%; 主要伴生种有狗尾草、马唐、苍耳、萝藦、藜。

群落 II: 菹草+芦苇群落, 包含样点 3, 为永定河自然滨岸带, 分布在军庄滨水公园附近。其中, 菹草平均高度为 81.25 cm, 盖度为 30.25%; 芦苇平均高度为 138.32 cm, 盖度为 25.5%。主要伴生种有小飞蓬、三叶鬼针草。

群落 III: 芦苇+香蒲+三叶鬼针草群落, 包含样点 4、5、6、9, 为永定河再生水补水滨岸带, 分别分布在福亭公园、永定河公园、门城湖园和卢沟桥月湖公园附近。其中, 芦苇平均高度为 195.51 cm, 盖度为 33.55%; 香蒲平均高度为 172.33 cm, 盖度为 12.5%; 三叶鬼针草平均高度为 59.57 cm, 盖度为 8.15%; 主要伴生种有酸模叶蓼、三棱水葱、水莎草、菹草。

群落 IV: 香蒲+芦苇群落, 包含样点 7, 为永定河再生水补水滨岸带, 分布在莲石湖公园附近。其中, 香蒲平均高度为 173.63 cm, 盖度为 30%; 芦苇平均高度为 191.25 cm, 盖度为 21.5%。主要伴生种有黄花鸢尾、酸模叶蓼、狗尾草。

群落 V: 芦苇+狗尾草群落, 包含样点 8, 为永定河再生水补水滨岸带, 分布在永定河生态文化新区附近。其中, 芦苇平均高度为 191.10 cm, 盖度为 30.15%; 狗尾草平均高度为 42.25 cm, 盖度为 12.5%。主要伴生种有香蒲、菹草、小飞蓬。

群落 VI: 香附子+芦苇群落, 包含样点 10、11, 为潮白河自然滨岸带, 主要分布在京承潮白河桥和度

假村附近。其中, 香附子平均高度为 57.33 cm, 盖度为 32.25%; 芦苇平均高度为 183.75 cm, 盖度为 12.5%。主要伴生种有香蒲、水葱、酸模叶蓼、马唐。

群落 VII: 芦苇+褐穗莎草群落, 包含样点 12, 为潮白河自然滨岸带, 分布在怀河与潮白河交汇口附近。其中, 芦苇平均高度为 188.35 cm, 盖度为 28.00%; 褐穗莎草平均高度为 73.14 cm, 盖度为 18.5%。主要伴生种有香蒲、水莎草、茜草。

群落 VIII: 芦苇+香蒲+香附子群落, 包含样点 13、14、15、17, 为潮白河再生水补水滨岸带, 分别分布在向阳闸、高尔夫球场、和谐广场和减河公园附近。其中, 芦苇平均高度为 197.81 cm, 盖度为 30.00%; 香蒲平均高度约为 173.85 cm, 盖度为 18.50%; 香附子平均高度为 58.67 cm, 盖度为 7.17%; 主要伴生种有小飞蓬、水芹、酸模叶蓼、头状穗莎草、狗尾草。

群落 IX: 芦苇+香蒲群落, 包含样点 16、18, 为潮白河再生水补水滨岸带, 主要分布在减河与潮白河交汇口和河南村橡胶坝附近。其中, 芦苇平均高度为 198.45 cm, 盖度为 35.00%; 香蒲平均高度为 177.25 cm, 盖度为 15.75%。主要伴生种有狗尾草、黄花鸢尾、香附子、水莎草、菹草、酸模叶蓼。

### 2.3 植物群落物种多样性特征

永定河自然滨岸带、永定河再生水补水滨岸带、潮白河自然滨岸带、潮白河再生水补水滨岸带的平均盖度分别为 70.71%、84.87%、75.39%、88.63%, 平均高度分别为 59.55、73.29、58.79、74.91 cm (图 4)。永定河和潮白河再生水滨岸带植物的平均盖度和平均株高均显著高于自然滨岸带 ( $P=0.034<0.05$ ), 且 2 条河流对应的同类型调查区无显著性差异 ( $P=0.118>0.05$ )。

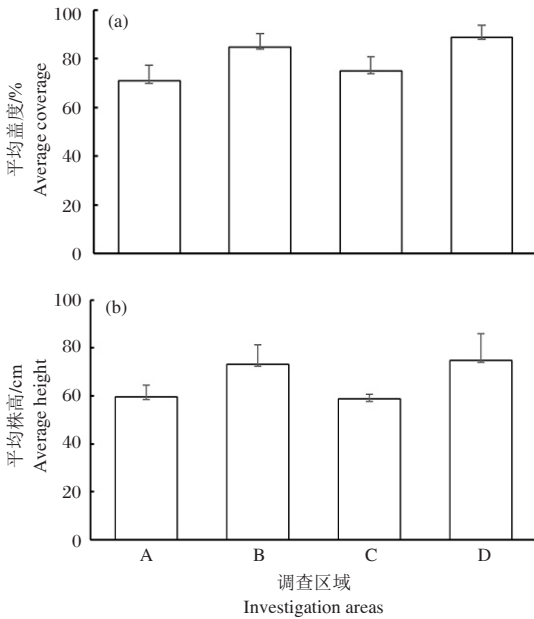


图4 调查区域内平均盖度(a)和平均株高(b)

Fig.4 Average coverage (a) and plant height (b) in the four investigation areas

研究表明,永定河自然滨岸带、永定河再生水补水滨岸带、潮白河自然滨岸带、潮白河再生水补水滨岸带的物种丰富度均值分别为47、37、49、44, Simpson 优势度指数均值分别为23.46、6.72、28.39、5.12, Shannon 多样性指数均值分别为9.96、2.78、12、1.57, Pielou 均匀度指数均值分别为2.6、0.76、3.1、0.43(图5)。可见永定河和潮白河再生水补水滨岸带植物群落的4个物种多样性指数均值都低于自然滨岸带,且2条河流对应的同类型调查区无显著性差异( $P=0.063>0.05$ )。

## 2.4 植被生活型分类

不同调查区内植物生活型占比见图6。结合河流岸带植物调查的实际情况,依据植物的第一级(演化形态学角度)、第二级(植物主轴木质化程度及寿命长短)、第三级(植物体态)中生活型的主要分类方法,最终将不同调查区内的植被分成了9种生活型(表4)。可见4个调查区(A~D)均是一年生草本植物生活型种类数最多,分别占据该调查区总数的59.57%、51.35%、57.14%、56.82%;多年生草本植物生活型种类数次之,分别占31.91%、32.43%、34.69%、29.54%;再生水补水滨岸带水生植物生活型的种类数显著高于自然滨岸带,其中B区高于A区11.96%、D区高于C区7.51%;另外,灌木和半灌木类型的植物生活型仅在自然滨岸带出现。再生水补水段的水生植物种类虽较为丰富,但总体的植物生活型丰富度却低于自然滨岸带,这可能与自然滨岸带出现了生

长环境较为稳定的木本类和半木本类植物有关。整个调查区域内均以一年生草本为主要生活型,其中以春性一年生草本为主,多年生挺水植物次之。

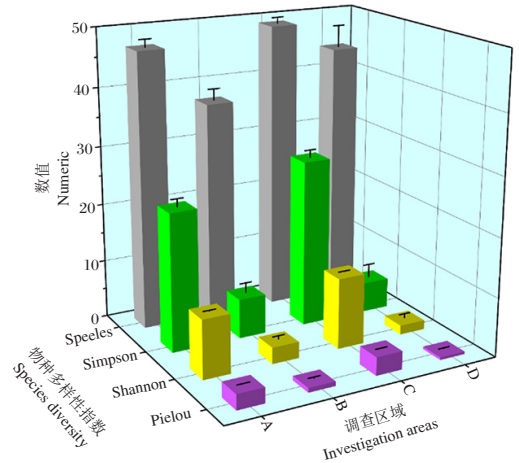


图5 不同调查区域内物种多样性指数

Fig.5 Vegetation community diversity for each investigation area

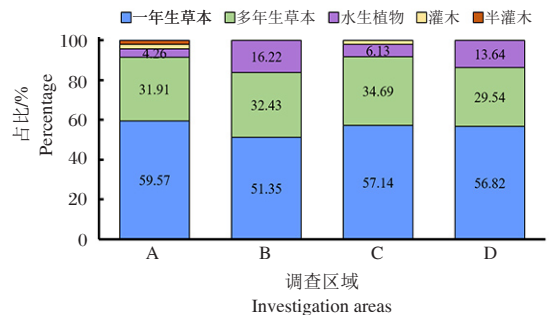


图6 不同调查区域的植物生活型占比

Fig.6 Percentage of different plant life types for each investigation area

## 3 讨论

### 3.1 再生水水质对植物生长的选择作用

植物多样性是生物多样性研究的核心内容之一,表征着群落结构的复杂性和生境自然性。本文中4个调查区均以菊科、禾本科和莎草科的植物为主要优势科,并且再生水补水岸带物种丰富度均低于自然滨岸带。有研究表明,滨岸带土壤的生境直接决定着滨岸带植物生长状况及分布特征(陈影等,2020),而采用含有较多盐类、重金属和微生物等成分的再生水灌溉会损害植物健康(Manashi et al, 2020);再生水的酸碱度通过影响金属的可溶性和土壤的碱度而间接影响植物,过高的固体悬浮物和生化需氧量会通过抑制光合作用和酶活性破坏生长素的形成,并干涉植物对水分的吸收,导致植物生长受

表 4 不同调查区域的植物生活型分级与占比  
Tab.4 Plant life types for each investigation area

调查区域	一级分类	二级分类	三级分类	数量/种	分比例/%	占比/%
A	木本	灌木	落叶蔓生灌木	1	2.13	0.56
	半木本	半灌木	一年生半灌木	1	2.13	0.56
	草本	一年生草本	春性一年生草本	27	57.45	15.25
			冬性一年生草本	1	2.13	0.56
	水生植物	多年生草本	多年生根茎草	7	14.89	3.95
			多年生草质藤本	2	4.26	1.13
			多年生直立茎杂类草	6	12.77	3.39
			多年生挺水植物	2	4.26	1.13
B	草本	一年生草本	春性一年生草本	19	51.35	10.73
		多年生草本	多年生根茎草	4	10.81	2.26
	水生植物	多年生草本	多年生草质藤本	4	10.81	2.26
			多年生直立茎杂类草	4	10.81	2.26
			多年生挺水植物	6	16.22	3.39
C	木本	灌木	落叶蔓生灌木	1	2.04	0.56
	草本	一年生草本	春性一年生草本	27	55.10	15.25
			冬性一年生草本	1	2.04	0.56
	水生植物	多年生草本	多年生根茎草	3	6.12	1.69
			多年生草质藤本	4	8.16	2.26
			多年生直立茎杂类草	10	20.41	5.65
多年生挺水植物			3	6.12	1.69	
D	草本	一年生草本	春性一年生草本	24	54.55	13.56
			冬性一年生草本	1	2.27	0.56
	水生植物	多年生草本	多年生根茎草	4	9.09	2.26
			多年生草质藤本	4	9.09	2.26
			多年生直立茎杂类草	5	11.36	2.82
			多年生挺水植物	6	13.64	3.39

阻(张利枝和王渊,2018)。但也有研究表明,在大多数情况下,用于灌溉植物再生水的水质指标浓度是植物可以承受的胁迫阈值,且短期的再生水灌溉对植物生长发育安全有益(David et al, 2019b);另外,滨岸带因具有加固岸带、消洪、为野生动物提供庇护所、为植物繁殖体提供运动与传输廊道等多种功能被作为半自然半人工生境留存的代表,其支撑功能又与滨岸带植被的组成紧密相关(Manning et al, 2020),但频繁的人类活动也会使植被受到不同程度的干扰。潮白河和永定河的再生水补水滨岸带区内的植物物种数量虽无显著差异,但由于其周围环境干扰程度不同,使得2个区域的物种多样性差异显著。通过对比发现,自然滨岸带植物物种丰富度均高于再生水补水段,这可能是由于再生水补水后的

水质会影响滨岸带土壤质地,而使滨岸带对植物物种要求更为严格。因此,再生水恢复河流与植物生长发育和植物种类可能有一定的联系,有些植物可能因不能适应再生水补水后滨岸带的生态环境而不能正常生长,致使该区域物种多样性相对较低,可能与再生水水质、滨岸带土壤因子、人为干扰景观和频繁的人类活动等复杂因素有关。

### 3.2 再生水河段对植物生活性的选择作用

再生水补水河流虽有一定的风险,但也有较好的回收利用效益。一方面,可将城市污水进行资源化回收利用,从而有利于更好地解决干旱半干旱地区水资源短缺的问题(Li et al,2019);另一方面,再生水是一种具有改善土壤健康状况和节约肥料的潜在水资源(Chen et al,2013)。调查区内再生水补水滨岸



带植物的平均盖度和平均株高均显著高于自然滨岸带,可能由于再生水提供的氮、磷、钾等部分营养元素一定程度上促进了植物的生长发育。有研究者分别用再生水和清水灌溉绿地植物,发现再生水灌溉的植物不仅在短期内促进了植物生理对矿质元素的吸收,提高了植物的净光合速率,增高了植物的生物量,进而更好地促进植物生长发育,但促进程度与植物种类有关(杨嫦丽等,2012;David et al,2019a)。再生水可代替地下水和自来水用于景观和绿地灌溉,但长期使用再生水可能会累积部分重金属污染物和溶解性盐,从而导致部分离子超过阈值,进而对植物的生长发育、抗逆性和光合生理产生胁迫影响;另外也可能因为再生水补水滨岸带水量丰富,但生境稳定性差,以至于该生境内植物物种的多样性较低,但目前还均未达到对植物生长发育造成强烈有害的影响(Andrew et al,2020)。也有研究者指出,再生水灌溉绿地可提供给土壤和植物较多的营养成分,不仅减少了施肥的费用,还改善了环境状况,虽然再生水的循环利用在实际生产中得到了很好的应用(Chojnacka et al,2020),但再生水灌溉对植物的影响会因处理工艺、气候、灌溉方式、物种特性、土壤环境因子和质地等因素而不同(Jessica et al,2019)。为了滨岸带的生态环境更加健康和物种多样性更加丰富,在长期使用再生水灌溉时,需严控再生水水质排放标准,跟踪监测土壤和植物相关指标参数,以减少再生水对植物产生的胁迫伤害,同时也避免对土壤造成二次污染(Fan et al,2020)。对再生水灌溉或恢复河流的应用还需深入研究验证,才能为更合理地推广使用再生水提供科学依据。

### 3.3 再生水河段对植物生活型的选择作用

植物一般通过个体自身和群体两个层次去适应环境,大多数植物通过个体自身长期趋同适应环境中的生态因子,从而在生理、结构、形态上表现出稳定的生活型,同时植被生活型也间接反映其群落生境(Raytha et al,2019)。再生水补水后河流的生境更适宜湿生植物生长,而自然滨岸带由于河流缺水导致的干旱更适宜旱生植物生长,所以自然滨岸带生境内比再生水补水岸带多出现了生长较为稳定的灌木和半灌木类型的木质植物生活型,这可能一方面因为再生水补水的滨岸带遭受周期性水位变化的扰动,生境变得相对不稳定,而需要较长时间生命周期完成生长的灌木和半灌木类植物,不易在生境波动大的环境下生存;另一方面,可能因为自然滨岸带植物由于间歇性或长期缺水导致河流干涸,水生植物

生活型的植物相对减少,出现了生境较为稳定的本木类和半灌木生活型植物。但本调查区自然和再生水补水滨岸带均以一年生和多年生草本为主要优势生活型,从植物个体生存适应特征来看,一年生和多年生草本植物进化快、繁殖能力强、环境适应性强,且具有较高表型可塑性,而滨岸带又属于陆地与水生生态系统之间不稳定土壤质地的生态交错带,所以滨岸带植被的奠基种群大多是一年生和多年生草本;另外,小种群植物要在强度干扰的环境中存活、适应、扩散,必须具备应对环境和不确定性的能力,这些r-选择生活对策的一年生和多年生杂草类植物具有明显的优势。因此,在北京及华北地区再生水恢复河流湿地的技术中,基于滨岸带植被的恢复策略的基础上,建议选择r-生活对策的一年生和多年生杂草类植物,如芦苇、香蒲、菖草、狗尾草、酸模叶蓼等植物,将更有利于加速再生水补水后河流滨岸带植物群落的快速构建。

志谢:感谢宋树人工程师在永定河和潮白河植被野外调查中给予的协助。

### 参考文献

- 陈影,陈苏,马鸿岳,等,2020. 辽河干流河岸带植物及微生物多样性研究[J]. 农业环境科学学报,39(9):2048-2057.
- 韩洋,乔冬梅,齐学斌,等,2020. 再生水灌溉水平对土壤盐分累积与细菌群落组成的影响[J]. 农业工程学报,36(4):106-117.
- 贺士元,刑其华,1984. 北京植物志[M]. 北京:北京出版社.
- 朗惠卿,1999. 中国湿地植被[M]. 北京:科学出版社.
- 雷波,王业春,由永飞,等,2014. 三峡水库不同间距高程消落带草本植物群落物种多样性与结构特征[J]. 湖泊科学,26(4):600-606.
- 历成凯,唐强,张楠,等,2020. 沈阳蒲河生态廊道河岸带草本植物多样性调查研究[J]. 现代园艺,43(13):38-40.
- 刘昌明,2002. 二十一世纪中国水资源若干问题的讨论[J]. 水利水电技术,33(1):15-19.
- 吴征镒,1980. 中国植被[M]. 北京:科学出版社.
- 吴征镒,Raven P H,2003. 中国植物志图集[M]. 北京:科学出版社.
- 夏绮文,李炳华,何江涛,等,2021. 潮白河再生水生态补给河道区浅层地下水氮转化[J]. 环境科学研究,34(3):618-628.
- 杨嫦丽,王齐,王有国,等,2012. 中水灌溉对8种绿地植物光合生理指标的影响[J]. 西南林业大学学报,32(5):42-45,49.
- 于江杰,2019. 我国再生水回用现状分析及展望[J]. 四川水泥,(6):119.

- 于一雷, 谷洪彪, 张佳佳, 2017. 再生水补水后永定河水化学特征及其形成作用[J]. 干旱区资源与环境, 31(8):108-115.
- 张利枝, 王渊, 2018. 浅谈再生水灌溉水质对绿地土壤和植物的影响[J]. 现代农业, (1):76-78.
- 张羲, 于一雷, 李胜男, 等, 2021. 南水北调中线北京段大宁水库消落带植被分布特征及多样性研究[J]. 水生态学杂志, 42(4):40-49.
- Andrew P, Yu Y, Paul V, et al, 2020. Reclaimed wastewater as a viable water source for agricultural irrigation: A review of food crop growth inhibition and promotion in the context of environmental change[J]. Science of The Total Environment, 739 (5):139756.
- Chen W P, Lu S D, Jiao W T, et al, 2013. Reclaimed water: A safe irrigation water source? [J]. Environmental Development, 8:74-83.
- Chojnacka K, Witek-Krowiak A, Moustakas K, et al, 2020. A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: Prospects and challenges[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 130:109959.
- Czortek P, Dyderski M K, Jagodziński A M, 2019. River regulation drives shifts in urban riparian vegetation over three decades[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 47:126524.
- David Z, Silvia M P, Ramón B, et al, 2019a. Salt accumulation in soils and plants under reclaimed water irrigation in urban parks of Madrid (Spain)[J]. Agricultural Water Management, 213:468-476.
- David Z, Silvia M P, Ramón B, et al, 2019b. Turfgrass biomass production and nutrient balance of an urban park irrigated with reclaimed water[J]. Chemosphere, 237:124481.
- Fan W, Yang X P, Wang Y, et al, 2020. Loopholes in the current reclaimed water quality standards for clogging control during aquifer storage and recovery in China[J]. Water Cycle, 1:13-18.
- Han M Q, Gary B, Li B, et al, 2020. Impacts of flow regulation on geomorphic adjustment and riparian vegetation succession along an anabranching reach of the Upper Yellow River[J]. Catena, 190:104561.
- Jessica L D, Channah M R, Rachel R G, et al, 2019. Understanding grower perceptions and attitudes on the use of nontraditional water sources, including reclaimed or recycled water, in the semi-arid Southwest United States[J]. Environmental Research, 170 (MAR.):500-509.
- Li Q, Wang W J, Jiang X H, et al, 2019. Optimizing the reuse of reclaimed water in arid urban regions: A case study in Urumqi, Northwest China[J]. Sustainable Cities and Society, 51:101702.
- Manashi P, Masoud N A, Adel S, et al, 2020. Assessment of agricultural land suitability for irrigation with reclaimed water using geospatial multi-criteria decision analysis[J]. Agricultural Water Management, 231:105987.
- Manning A, Julian J P, Doyle M W, 2020. Riparian vegetation as an indicator of stream channel presence and connectivity in arid environments[J]. Journal of Arid Environments, 178:104167.
- Maxime T, Philippe J, André E, et al, 2020. Diversity and succession of riparian plant communities along riverbanks bioengineered for erosion control: a case study in the foothills of the Alps and the Jura Mountains[J]. Ecological Engineering, 152(6):105880.
- Nicolás E, Alarcón JJ, Mounzer O, et al, 2016. Long-term physiological and agronomic responses of mandarin trees to irrigation with saline reclaimed water[J]. Agricultural Water Management, 166:1-8.
- Raytha A M, Diego C A, Rafaela S M, et al, 2019. Responses of two macrophytes of the genus Polygonum to water level fluctuations and interspecific competition[J]. Aquatic Botany, 157:10-16.
- Yu Y, Ma M, Zheng F, et al, 2017. Spatio-Temporal Variation and Controlling Factors of Water Quality in Yongding River Replenished by Reclaimed Water in Beijing, North China[J]. Water, 9(7):453.
- Yu Y, Song X, Zhang Y, et al, 2020. Assessment of Water Quality Using Chemometrics and Multivariate Statistics: A Case Study in Chaobai River Replenished by Reclaimed Water, North China[J]. Water, 12(9):2551.

(责任编辑 万月华)

## Riparian Vegetation Distribution and Diversity Characteristics of Typical Rivers Supplemented with Reclaimed Water in Beijing

ZHANG Yi<sup>1</sup>, YU Yi-lei<sup>2,3</sup>, LI Sheng-nan<sup>3</sup>, XU Wei-gang<sup>3</sup>, WEI Wei<sup>3</sup>, HAO Jin-hu<sup>3</sup>

( 1.Geology Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Beijing 100101, P.R.China;

2.Xiongan Institute of Innovation, Chinese Academy of Sciences, Xiongan 071899, P.R.China;

3.Institute of Ecological Protection and Restoration, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, P.R.China)

**Abstract:** In this study, Yongding River and Chaobai River, two typical rivers supplemented with reclaimed water, were selected for a case study. In July 2019, an investigation of the vegetation community in the riparian zones of the two rivers was conducted across 18 sampling transects of 4 areas (3 transects in the natural riparian zone of each river and 6 sampling transects for the riparian zones with reclaimed water for each river). The characteristics of riparian vegetation distribution and diversity were explored based on the results, using statistical methods to characterize the importance value, diversity index and then cluster analysis, focusing on species composition, distribution, diversity indices and life types. Results show that (1) A total of 90 plant species from 73 genera and 34 families were observed during the investigation, dominated by Compositae (23 species), Cyperaceae (9 species) and Gramineae (8 species), together accounting for 45% of the total species. However, species richness was different among the four investigation areas and higher in the natural riparian zone for both rivers: 47 species, 40 genus and 19 families in the natural riparian zone of Yongding River, and 37 species, 34 genus and 19 families in the riparian zone of Yongding River replenished by reclaimed water; 49 species, 43 genus and 24 families in natural riparian zone of Chaobai River, and 44 species, 36 genus and 20 families in the riparian zone of Chaobai River replenished by reclaimed water. In addition, *Phragmites australis* and *Typha orientalis* were the common plants in the riparian zone replenished by reclaimed water, and *Phragmites australis*, *Humulus scandens* and *Setaria viridis* were the common plants in the natural riparian zone. (2) Cluster analysis shows that the vegetation community in the four investigation areas was divided into nine plant groups: *Phragmites australis* + *Humulus scandens* + *Typha orientalis*; *Humulus scandens* + *Phragmites australis*; *Phragmites australis* + *Typha orientalis* + *Bidens Pilosa*; *Typha orientalis* + *Phragmites australis*; *Phragmites australis* + *Setaria viridis*; *Cyperus rotundus* + *Phragmites australis*; *Phragmites australis* + *Cyperus fuscus*; *Phragmites australis* + *Typha orientalis* + *Cyperus rotundus*; *Phragmites australis* + *Typha orientalis*. (3) The species richness, Shannon–Wiener diversity, Pielou evenness and Simpson dominance degree of the vegetation community of the riparian zone replenished by reclaimed water was lower than those in the natural riparian zone. While the average plant height and coverage of the riparian zone replenished by reclaimed water was higher than those in natural riparian zone. (4) The plant community consisted of nine life types and the life types were dominated by annual and perennial herbs, but life types in the natural riparian area were richer. This study provides information important for the restoration, reconstruction, and protection of plant diversity in the riparian zone of rivers replenished by reclaimed water.

**Key words:** reclaimed water; diversity index; vegetation community; plant life type; Chaobai River; Yongding River