

南水北调北京段大宁水库消落带植被分布特征及多样性

张 羲^{1,2}, 于一雷^{1,2}, 李胜男^{1,2}, 徐卫刚^{1,2}, 李 垒³, 徐 达⁴, 孙昊苏⁴

(1. 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091;

2. 湿地生态功能与恢复北京市重点实验室, 北京 100091;

3. 北京市水科学技术研究院, 北京 100089;

4. 北京市南水北调大宁水库管理处, 北京 102442)

摘要:为探究南水北调中线北京段大宁水库消落带植被的分布特征及多样性,2019年6月对水库消落带典型区域(水位高程46~61 m)开展植被调查,并基于重要值、多样性指数和线性拟合统计方法,探讨消落带植被物种的组成、分布特征及生活型。结果显示:(1)研究区内共发现植被19科、37属、45种,以菊科、蓼科、藜科、莎草科、萝藦科和禾本科的种类较多,绝大部分是单属单种植物;出现频率35%以上的植物仅有2种,为灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)和小飞蓬(*Conyza canadensis*),占植物总数53%的植被出现频率低于5%;(2)聚类分析表明,大宁水库消落带群落可划分为绵毛酸模叶蓼+小飞蓬、芦苇+朝天委陵菜、狗尾草+假还阳参共计3个群落类型,46~50 m、50~55 m、55~61 m水位区段的主要群落分别为绵毛酸模叶蓼+酸模叶蓼、苘麻+艾蒿、狗尾草+葎草+茵陈蒿;(3)消落带植被的平均株高、总盖度及物种多样性指数(丰富度、Shannon-Wiener多样性、Pielou均匀度、Simpson优势度)均表现为随水位梯度升高而增加;(4)按照3级植物生活型的分类方式,将库区消落带植被分为9种生活型,涵盖3种1级生活型(木本、半木本、草本)和6种2级生活型(乔木、灌木、半灌木、一年生草本、多年生草本、水生植物),草本类(89.19%)>木本类(5.41%)>半木本类(4.05%),说明草本类是消落带植被群落的主要建群种,且一年生草本(58.1%)是主要优势生活型。

关键词:大宁水库;消落带;植物多样性;重要值;生活型

中图分类号:Q145 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2021)04-0040-10

消落带是指湖泊、河流、水库等水域区由于季节性水量变化或者防洪发电需人为调控,造成水位周期性的上涨下降,导致周边土壤周期性淹没或是露出水面,从而形成水陆生态系统的交错地带(付娟等,2015);水库消落带通常指水库最低水位线至最高水位线之间的一段特殊区域(钟荣华等,2015)。长期的水蚀和浪淘作用致使土壤及其周围自然植被慢慢剥离(Huang et al, 2017),导致区域出现水土流失、生境退化、生物多样性减少等问题,从而形成不稳定的生态脆弱带(Fan et al, 2012; 徐高福, 2015)。植被是消落带生态系统的重要组成部分(郭泉水等, 2010)。相关研究表明,植被种群丰富度、覆

盖度及群落结构特征将直接影响消落带的生态系统功能(庞志研等, 2012; 文小平和胡红亮, 2016; Wang et al, 2016; 李新等, 2017)。

大宁水库在蓄存南水、保障城市供水、调蓄洪水功能等方面发挥着重要作用,也为周围永定河水系的滨河生态恢复提供了重要的生态支撑作用(袁博宇, 2016)。以往的相关研究主要集中在水生态环境保护(孙昊苏, 2018)、水位动态及蓄水安全(彭淑芳, 2016)、水下地形测绘(杨瀚等, 2017)及水库浮游植物(孟凯等, 2016; 孙昊苏, 2018)等方面。水库消落带植被在防治水土流失、滨岸带水质保障、生物多样性维持、生物栖息地保育等方面具有重要生态功能(郭泉水等, 2010; 庞志研等, 2012),亟需开展大宁水库消落带植被分布特征及多样性研究。本次研究依据大宁水库消落带高程特征,在不同水位高程段开展植被调查,揭示不同区域植物分布特征、生活型及植被群落多样性指数,旨在为大宁水库消落带植被生物多样性保护、修复与重建提供基础数据和科学支撑。

收稿日期:2019-08-19 修回日期:2021-04-09

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费中国林科院重点项目(CAFYBB2017ZA007)。

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,博士,副研究员,主要从事湿地水文水循环方面的研究。E-mail:yuyilei1222@126.com

1 研究区域与方法

1.1 区域概况

大宁水库位于北京市房山区大宁村(39.81°~39.82°N,116.21°~116.22°E),入库河流涉及小哑叭河、小清河和永定河,是南水北调中线干渠进入北京的首个调蓄水库及永定河滞洪水库,水库面积3.6 km²,总库容为4 611万 m³,非汛期的最大调蓄库容为3 753万 m³,汛期最大可调蓄库容为1 006万 m³,水域面积约200 hm²,属中型水库,其水质优劣状况关系到北京市城市用水安全和社会稳定(李振海等,2015;徐华山等,2017;孙吴苏和李垒,2019)。库区地处暖温带半湿润季风大陆性气候区,四季分明,年温差大,年均气温为11.9℃;降水主要集中在6-9月,年均降水量为582.8 mm。

库区属于山前沉降型平原河谷地貌,以西是低山丘陵区,以东是冲积平原,地势由北向南微倾斜。其中,永定河左堤外为卢沟河古道,地表平坦,地面高程48~57 m;永定河右堤以西至高佃、稻田、马厂一带为永定河与小清河的河间地块,地势北高南低,地面高程46~56 m。库区地势低洼平坦,地面高程50~53 m,库底堆积层为20~30 m的砂卵石(李振

海等,2015)。大宁水库在冬季(枯水期)保持保高水位(55~61 m)运行,在夏季(丰水期)保持低水位(46~50 m)运行。受水位调节影响,大宁水库消落带不同高程的出露时间及出露月份不同,低水位(46~50 m)高程段内出露时间在7月初至10月初,约90 d;中水位(50~55 m)高程段内出露时间在4月初至10月底,约210 d;高水位(55~61 m)高程段内出露时间在3月初至11月初,约240 d。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及调查 根据《野生植物资源调查技术规程》行业标准规范(LY/T 1820-2009),开展大宁水库消落带植被调查(图1)。于2019年7月在大宁水库南北向的3处典型消落带内,沿水位高程设置1条宽15 m调查样带,代表低水位区(高程46~50 m)、中水位区(高程50~55 m)和高水位区(高程55~61 m);3种不同高程的水位区分别设置3个5 m×5 m的乔木幼苗幼树和灌木调查样方,并在每个样方内设置5个1 m×1 m的草本调查样方,共设置9个5 m×5 m的乔木幼苗幼树和灌木样方,45个1 m×1 m的草本样方。主要调查内容包括植物种类、植物生活型、植株盖度、数量和平均高度以及样地的经纬度和水位高程。

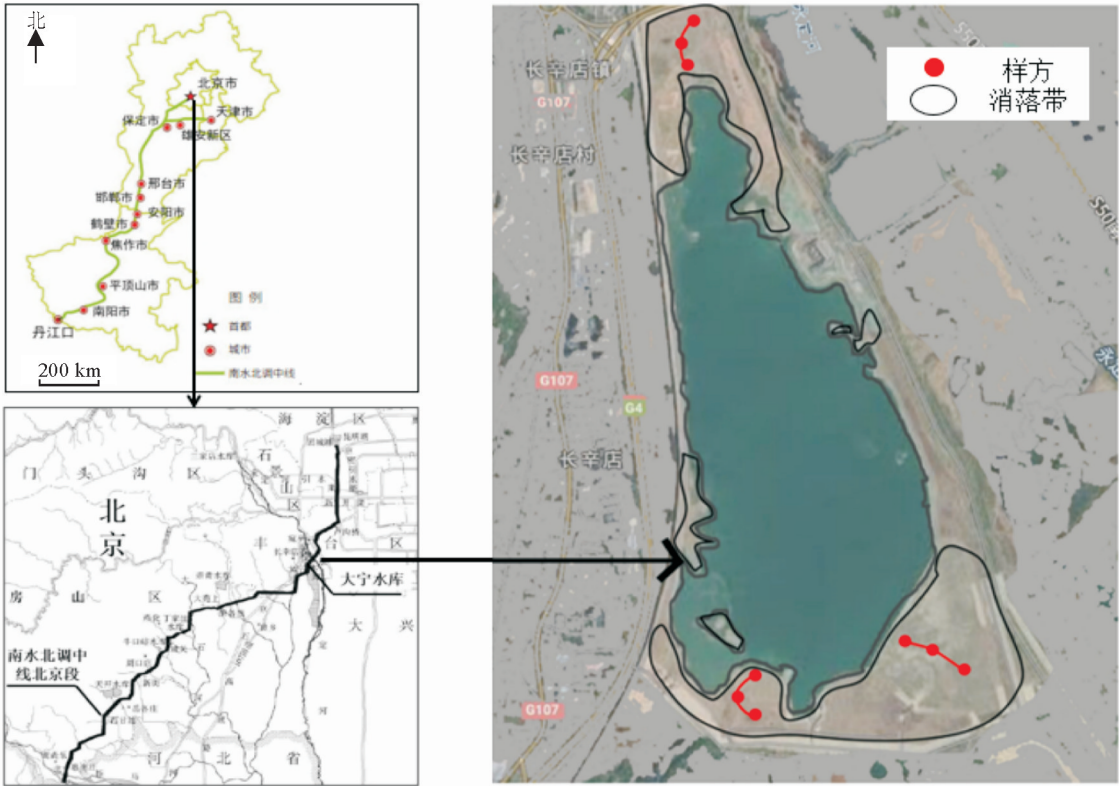


图1 研究区域及样地设置

Fig.1 Location of the study area and sampling plots

1.2.2 重要值和植物物种多样性指数 重要值(Important Value, IV)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(钟荣华等,2015)。

$IV = [\text{相对频度(RF)} + \text{相对盖度(RC)} + \text{相对密度(RD)}] / 3$

$RF = (\text{某种植物出现样方数} / \text{所有样方数之和}) \times 100\%$

$RC = (\text{某种植物盖度} / \text{所有植物盖度之和}) \times 100\%$

$RD = (\text{某种植物个数} / \text{所有植物个数之和}) \times 100\%$

本研究中,植物群落多样性特征描述指标包含植被平均株高(cm)、总盖度(%)及物种多样性指数;其中,多样性指数包括物种丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 多样性指数(H)、Pielou 均匀度指数(E)和 Simpson 优势度指数(D)(郭燕等,2019)。计算公式如下:

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

$$E = H / \ln S \quad ②$$

$$D = \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad ③$$

式中: P_i 指第 i 种植物的重要值; S 指样方内出现的所有植物种类个数。

1.3 数据处理

本研究采用 Excel 2010 统计样地植物物种及群落组成数据;采用 SPSS 24.0 进行单因素方差显著性检验(ANOVA)和聚类分析(ward 最小方差法);并基于 Origin 2017 对多样性指数进行绘图,分析区域内植被物种多样性特征。

2 结果与分析

2.1 植物种类组成及分布特征

本次调查表明,在研究区域内共发现有 19 科、37 属、45 种植物(表 1)。其中,菊科(Compositae) 10 属、12 种,蓼科(Polygonaceae) 2 属、5 种,藜科(Chenopodiaceae) 3 属、4 种,莎草科(Cyperaceae) 3 属、4 种,萝藦科(Asclepiadaceae) 3 属、4 种,禾本科(Gramineae) 2 属、2 种;其他如伞形科(Umbelliferae)、桑科(Moraceae)、旋花科(Convolvulaceae)、紫草科(Boraginaceae)、豆科(Leguminosae)、锦葵科(Malvaceae)、楝科(Meliaceae)、杨柳科(Salicaceae)、蔷薇科(Rosaceae)、十字花科(Cruciferae)、香蒲科(Typhaceae)、玄参科(Scrophulariaceae)、榆科

(Ulmaceae)均为单属单种。以菊科植物的种属数最为丰富,其次是蓼科、藜科、莎草科、萝藦科、禾本科,以上 6 种植物种数占总种数的 67.4%,6 种植物属数占总属数的 62.16%,其他科均是单属单种。

由图 2 可知,大宁水库消落带区约占总物种数 53%的植物出现频率低于 5%;约 29%的植物出现频率在 5%~15%;约 13%的植物出现频率在 15%~35%;仅有小飞蓬和灰绿藜的出现频率在 35%以上,约占总数的 4%。可见大宁水库消落带区域内大多数植物出现频率较低,仅有少部分植物常出现,这可能与消落带脆弱的生态系统影响植物种群的适应性有关。

由表 1 可知,大宁水库消落带不同水位高程区的植物种类组成不同,低水位区(46~50 m)共发现 19 种植物。其中,香附子、齿果酸模、紫菀、扫帚菜、具芒碎米莎草和球穗扁莎 6 种植物只在库区消落带的低水位区(46~50 m)出现;中水位区(50~55 m)共发现 27 种植物,比低水位区新增了山莴苣、青蒿、艾蒿等 14 种植物,但山莴苣、艾蒿、小苦荬、旋覆花、皱叶酸模、水芹 6 种植物只在中水位区发现;高水位区(55~61 m)共发现 29 种植物,比中水位区新增了砂引草、香椿、白杨等 10 种植物,而茵陈蒿、翅果菊、隔山消、鹅绒藤、杠柳、砂引草、香椿、白杨、榆树、毛地黄、附地菜 11 种植物只在高水位区被发现;另外,小苦荬、灰绿藜、泥胡菜、藜、葎菜、野大豆、朝天委陵菜、芦苇 8 种植物在 3 种水位区都被发现,其中野大豆是国家二级保护植物。可见随着消落带水位升高,植物种类增加,这与由永飞等(2017)通过对三峡库区(重庆段)消落带植被分布研究得出低、中、高 3 种水位区植物种类依次为 8、22、45 种,并随水位梯度升高、植被种类增加的结论一致。这可能因为低水位区的消落带对植物物种要求更为严格,许多植物因不能适应消落带低水位区的生态环境而消亡(方精云等,2009;郭燕等,2018)。

2.2 植物群落分布特征

根据消落带区域内样地的物种重要值进行聚类分析(图 3),可见 9 块样地可分为 3 组,代表 3 种群落类型。依据植物分类系统(吴征镒,1980;郎慧卿,1999)为各分类组命名,不同群落的特征如下。

2.2.1 绵毛酸模叶蓼+小飞蓬群落 包含样地 2、3、5,主要水位高程 46~55 m。其中,绵毛酸模叶蓼的平均高度 16~26 cm,盖度 28%~67%;小飞蓬的平均高度 12~37 cm,盖度 10%~56%;主要伴生种有灰绿藜、酸模叶蓼、水莎草、朝天委陵菜。

表 1 大宁水库消落带植物种类组成及重要值

Tab.1 Species composition and important value in the fluctuation zone of Daning reservoir

科	属	种	不同水位高程的植物重要值		
			46~50 m	50~55 m	55~61 m
蓼科 Polygonaceae	蓼属 Polygonum	绵毛酸模叶蓼 Polygonum lapathifolium	0.69	0.20	—
藜科 Chenopodiaceae	藜属 Chenopodium	灰绿藜 Chenopodium glaucum	0.48	0.22	0.07
十字花科 Cruciferae	蔊菜属 Rorippa	蔊菜 Rorippa indica	0.56	0.08	0.09
菊科 Compositae	白酒草属 Conyza	小飞蓬 Conyza canadensis	0.55	0.22	0.12
豆科 Leguminosae	大豆属 Glycine	野大豆 Glycine soja	0.35	0.05	0.32
莎草科 Cyperaceae	莎草属 Cyperus	香附子 Cyperus rotundus	0.49	—	—
蓼科 Polygonaceae	蓼属 Polygonum	红蓼 Polygonum orientale	0.50	0.19	—
蓼科 Polygonaceae	酸模属 Rumex	齿果酸模 Rumex dentatus	0.38	—	—
禾本科 Gramineae	芦苇属 Phragmites	芦苇 Phragmites australis	0.05	0.59	0.50
蔷薇科 Rosaceae	委陵菜属 Potentilla	朝天委陵菜 Potentilla supina	0.29	0.51	0.13
菊科 Compositae	泥胡菜属 Hemistepta	泥胡菜 Hemistepta lyrata	0.05	0.23	0.46
菊科 Compositae	紫菀属 Aster	紫菀 Aster tataricus	0.34	—	—
藜科 Chenopodiaceae	藜属 Chenopodium	藜 Chenopodium album	0.20	0.14	0.36
藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属 Salsola	猪毛菜 Salsola collina	0.35	0.34	—
藜科 Chenopodiaceae	地肤属 Kochia	扫帚菜 Kochia scoparia	0.57	—	—
莎草科 Cyperaceae	莎草属 Cyperus	具芒碎米莎草 Cyperus microiria	0.47	—	—
莎草科 Cyperaceae	扁莎属 Pycreus	球穗扁莎 Pycreus globosus	0.57	—	—
蓼科 Polygonaceae	蓼属 Polygonum	酸模叶蓼 Polygonum lapathifolium	0.63	0.10	—
锦葵科 Malvaceae	苘麻属 Abutilon	苘麻 Abutilon theophrasti	0.27	0.63	—
菊科 Compositae	山莴苣属 Lagedium	山莴苣 Lagedium sibiricum	—	0.45	—
菊科 Compositae	蒿属 Artemisia	青蒿 Artemisia carvifolia	—	0.20	0.59
菊科 Compositae	蒿属 Artemisia	艾蒿 Artemisia argyi	—	0.63	—
菊科 Compositae	蒿属 Artemisia	茵陈蒿 Artemisia capillaris	—	—	0.67
菊科 Compositae	假还阳参属 Crepidiastrum	假还阳参 Crepidiastrum lanceolatum	—	0.35	0.38
菊科 Compositae	小苦荬属 Ixeridium	小苦荬 Ixeridium dentatum	—	0.58	—
菊科 Compositae	旋覆花属 Inula	旋覆花 Inula japonica	—	0.47	—
菊科 Compositae	蓟属 Cirsium	刺儿菜 Cirsium setosum	—	0.22	0.46
菊科 Compositae	翅果菊属 Pterocypsela	翅果菊 Pterocypsela indica	—	—	0.61
蓼科 Polygonaceae	蓼属 Polygonum	皱叶酸模 Rumex crispus	—	0.61	—
莎草科 Cyperaceae	水莎草属 Juncellus	水莎草 Juncellus serotinus	—	0.51	0.19
萝藦科 Asclepiadaceae	鹅绒藤属 Cynanchum	隔山消 Cynanchum wilfordii	—	—	0.34
萝藦科 Asclepiadaceae	鹅绒藤属 Cynanchum	鹅绒藤 Cynanchum chinense	—	—	0.47
萝藦科 Asclepiadaceae	萝藦属 Metaplexis	萝藦 Metaplexis japonica	—	0.19	0.51
萝藦科 Asclepiadaceae	杠柳属 Periploca	杠柳 Periploca sepium	—	—	0.47
禾本科 Gramineae	狗尾草属 Setaria	狗尾草 Setaria viridis	—	0.22	0.69
伞形科 Umbelliferae	水芹属 Oenanthe	水芹 Oenanthe javanica	—	0.37	—
桑科 Moraceae	葎草属 Humulus	葎草 Humulus scandens	—	0.05	0.67
旋花科 Convolvulaceae	打碗花属 Calystegia	打碗花 Calystegia hederacea	—	0.39	0.30
香蒲科 Typhaceae	香蒲属 Typha	香蒲 Typha orientalis	—	0.44	0.24
紫草科 Boraginaceae	砂引草属 Messerschmidia	砂引草 Messerschmidia sibirica	—	—	0.57
楝科 Meliaceae	香椿属 Toona	香椿 Toona sinensis	—	—	0.47
杨柳科 Salicaceae	杨属 Populus	白杨 Populus tomentosa	—	—	0.47
榆科 Ulmaceae	榆属 Ulmus	榆树 Ulmus pumila	—	—	0.47
玄参科 Scrophulariaceae	毛地黄属 Digitalis	毛地黄 Digitalis purpurea	—	—	0.47
紫草科 Boraginaceae	附地菜属 Trigonotis	附地菜 Trigonotis peduncularis	—	—	0.47

注:表中“—”表示大宁水库消落带所在水位高程没有发现该物种。

Note: “—” denotes no species observed in the elevation zone.

2.2.2 芦苇+朝天委陵菜群落 包含样地 1、4、6、9,主要水位高程 50~61 m。其中,芦苇平均高度 56~112 cm,盖度 45%~78%;朝天委陵菜平均高度 28~37 cm,盖度 35%~61%;主要伴生种有狗尾

草、野大豆、萝藦、绵毛酸模叶蓼、苘麻。

2.2.3 狗尾草+假还阳参群落 包含样地 7 和 8,主要水位高程 55~61 m。其中,狗尾草平均高度 18~37 cm,盖度 38%~72%;假还阳参平均高 35~

53 cm, 盖度 23%~48%; 主要伴生种为藜、青蒿、葎草、刺儿菜、萝藦。

调查表明, 消落带植物群落整体以适应苛刻环境的一年生植物占优势, 缺少需要长时间完成生命周期的地上芽植物和高位芽植物。虽然消落带湿地刚刚开始形成, 但植物组成上以湿生和水生植物占优势。

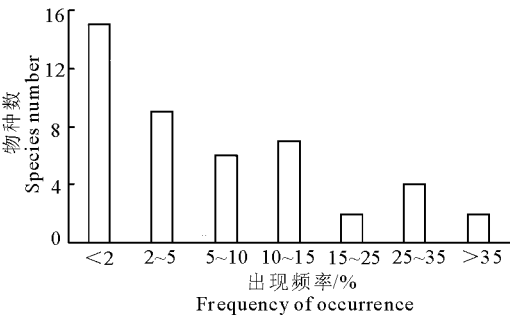


图2 不同出现频率范围内植被物种数
Fig.2 Vegetation species and occurrence frequency ranges

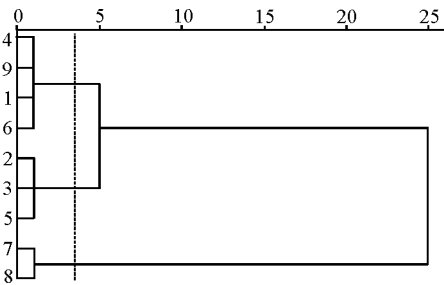


图3 大宁水库调查样地植物群落组聚类

Fig.3 Cluster diagram of plant communities in the nine sampling plots of Daning reservoir

物种重要值可比较不同水位高程内的优势种(表1)。根据相关分类系统(吴征镒, 1980; 郎慧卿, 1999), 以不同水位区段内优势种和亚优势种作为该区段的主要植物群落, 不同水位高程内的群落特征如下:

(1)低水位区(46~50 m): 主要优势群落为绵毛酸模叶蓼+酸模叶蓼, 包含样地1、2、3。绵毛酸模叶蓼的平均高度16~20 cm, 植株较小, 盖度35%~67%; 酸模叶蓼平均高度18~32 cm, 盖度15%~48%; 主要伴生种有球穗扁莎、扫帚菜、蔊菜、小飞蓬; 该优势群落多生于田边、路旁、水边、荒地或沟边湿地中, 并且由于低水位区在水库运行期间的淹没时间最长, 受胁迫程度最高, 仅有绵毛酸模叶蓼和酸模叶蓼等少数耐水淹胁迫种可以形成稳定群落, 其他植物都很难定居, 所以该区域植被呈现出外形较小、耐水淹、受胁迫较高、盖度和高度较低等特征。

(2)中水位区(50~55 m): 主要优势群落为苘麻+艾蒿, 包含样地4、5、6。苘麻的平均高度28~55cm, 盖度30%~62%; 艾蒿平均高度22~41 cm, 盖度25%~63%; 主要伴生种有皱叶酸模、芦苇、朝天委陵菜、小苦荬; 该优势群落植物分布广, 多生于低海拔至中海拔区的荒地、路旁河边。对比低水位区, 该区优势植物群落的主茎干明显增大, 植株的茎呈现半灌木状, 植株根系较发达, 具有较好的抗逆性, 并且适应性趋于干旱和湿生两种生境。

(3)高水位区(55~61 m): 主要优势群落为狗尾草+葎草+茵陈蒿, 包含样地7、8、9。狗尾草平均高度21~37 cm, 盖度38%~72%; 葎草平均高度25~68 cm, 盖度18%~56%; 茵陈蒿的平均高度16~37 cm, 盖度15%~48%; 主要伴生种为翅果菊、青蒿、砂引草、芦苇。该水位区的优势群落多生于荒野、道旁, 生境趋向于陆地生境, 为旱地作物常见的杂草, 多以疏松肥沃、富含腐殖质的砂质壤土及为宜, 优势物种主要为一年生禾本科和菊科杂类草植被, 群落特征明显表现出已对水位涨落及小生境差异的适应。

2.3 植被群落多样性指数

大宁水库消落带植物盖度随着水位梯度升高而增加(图4-A)。库区消落带平均总盖度(11.97±9.33)%, 不同水位区的平均总盖度差异显著($P=0.006<0.05$)。中水位区盖度(13.19±11.06)%, 与低水位区的盖度(9.67±6.81)%差异较明显($P=0.043<0.05$), 但高水位(12.3021±8.88)%与低水位区($P=0.587>0.05$)和中水位区($P=0.341>0.05$)均无明显差异; 消落带植物平均株高随水位升高而增加(图4-B), 平均株高(22.03±19.51) cm, 3种水位区平均株高差异显著($P=0.006<0.05$), 低水位区的平均株高(12.45±7.71) cm 与中水位区(25.42±17.71) cm($P=0.003<0.05$)和高水位区(24.83±24.09) cm($P=0.005<0.05$)差异显著, 但中水位与高水位区植物的平均株高并无明显差异($P=0.845>0.05$)。

调查发现, 植被群落的4个多样性指数均表现出随水位梯度升高而增加, 库区消落带物种丰富度指数(图5-A)为(17.96±12.81)个, 高水位区物种丰富度为(20.27±14.53)个, 虽然在3种不同消落区内物种丰富度不同, 但与低水位区(15.27±10.53)个和中水位区(17.27±13.53)个没有较显著性的差异($P=0.51>0.05$); Shannon-Wiener 多样性指数(图5-B)为(0.163±0.154), 随着水位梯度

升高,其指数增加,但在3种水位区内无显著差异($P=0.051>0.05$);Pielou均匀度指数(图5-C)为(0.05 ± 0.048),随着水位升高而增加,3种水位区内无显著性差异($P=0.771>0.05$);Simpson优势度指数(图5-D)为(0.170 ± 0.196),3种水位区差

异性显著($P=0.028<0.05$),高水位区的优势度指数(0.170 ± 0.20)显著高于低水位区的优势度指数(0.10 ± 0.13)($P=0.048<0.05$),但中水位区与高水位区($P=0.102>0.05$)和低水位区($P=0.934>0.05$)均无差异性。

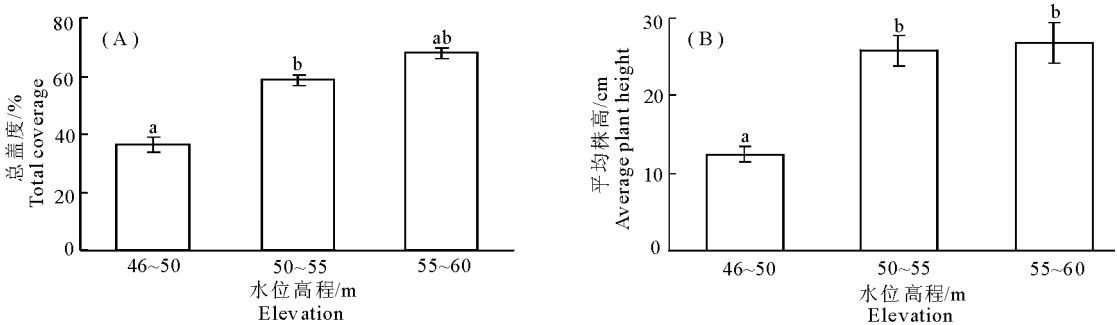


图4 不同水位梯度下盖度和株高特征

Fig.4 Coverage and height of vegetation by elevation zone in the water-level-fluctuation zone of Daning reservoir

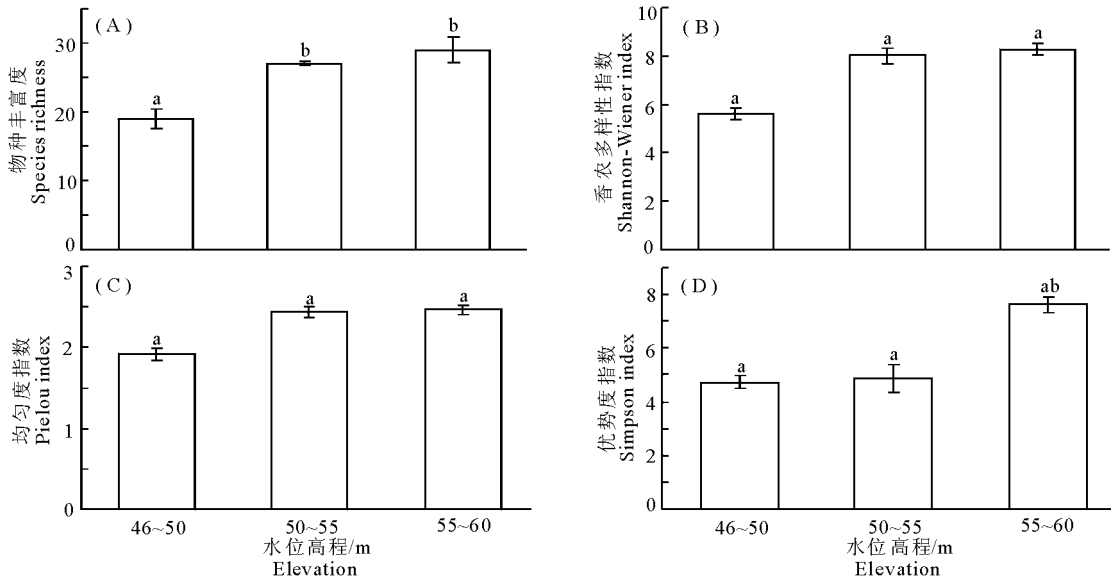


图5 不同水位梯度下消落带物种多样性指数

Fig.5 Species diversity in each elevation zone of the water-level-fluctuation zone of Daning reservoir

通过对库区消落带水位高程(46~61 m)内物种多样性指数沿水位梯度变化模拟分析,发现在大宁水库消落带水位高程46~51 m,盖度、株高、4个多样性指数与水位高程呈单指数函数关系,其拟合系数 r 值分别为0.997(盖度)、0.998(平均株高)、0.998(丰富度)、0.998(Shannon-Wiener)、0.995(Pielou)、0.995(Simpson)。以上分析可知,植被的盖度、平均株高、4个多样性指数均随水位高程升高而增加,原因在于淹水时间、受水淹胁迫力为主要影响因素(陈忠礼等,2012);植物在不同梯度水位区的稳定性有差异,导致物种的丰富度不同,从而影响其多样性指数。

2.4 植被生活型分类

植被生活型是植物对综合生长环境条件长期适应的结果,从本质和外观上反映出植物类型的综合表现(郭燕等,2019)。依据植物生活型划分(吴征镒,1980;郎慧卿,1999),结合大宁水库消落带实际调查情况,按照植被的第一级(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,将大宁水库消落带内的植被分为9种生活型(表2),涵盖3种一级生活型(木本、半木本、草本)和6种二级生活型(乔木、灌木、半灌木、一年生草本、多年生草本、水生植物)。由图6可知,3种水位区的植物生活型占比不

表 2 大宁水库消落带植物生活型
Tab.2 Plant life types by elevation zone in the water-level-fluctuation zone of Daning reservoir

水位高程/m	第一级分类	第二级分类	第三级分类	物种数	分比例/%	总比例/%
46~50	半木本	半灌木	一年生半灌木	1	5.56	1.35
		草本	一年生草本	12	66.67	16.22
	草本	一年生草本	春性一年生草本	2	11.11	2.70
			冬性一年生草本	2	11.11	2.70
		多年生草本	多年生根茎草	2	11.11	2.70
		水生植物	多年生挺水植物	1	5.56	1.35
50~55	半木本	半灌木	一年生半灌木	2	7.41	2.70
		草本	一年生草本	11	40.74	14.86
	草本	一年生草本	春性一年生草本	3	11.11	4.05
			冬性一年生草本	2	7.41	2.70
		多年生草本	多年生草质藤本	4	14.81	5.41
			多年生根茎草	3	11.11	4.05
		水生植物	多年生挺水植物	2	7.41	2.70
55~61	木本	乔木	落叶乔木	3	10.34	4.05
		灌木	落叶蔓生灌木	1	3.45	1.35
	半木本	半灌木	一年生半灌木	1	3.45	1.35
		草本	一年生草本	10	34.48	13.51
	草本	一年生草本	春性一年生草本	5	17.24	6.76
			冬性一年生草本	2	6.90	2.70
		多年生草本	多年生根茎草	4	13.79	5.41
			多年生草质藤本	1	3.45	1.35
		水生植物	多年生挺水植物	2	6.90	2.70

注：分比例指在该水位高程内属于第三级分类中的物种数占该区域总物种数；总比例指在该种生活型中的物种数占研究区总物种数。
Note: The sub-proportion shows the species number accounting for the total number of the third-level species in the water-level-fluctuation zone; the total proportion shows the species number of the life type accounting for the total number in the elevation zone.

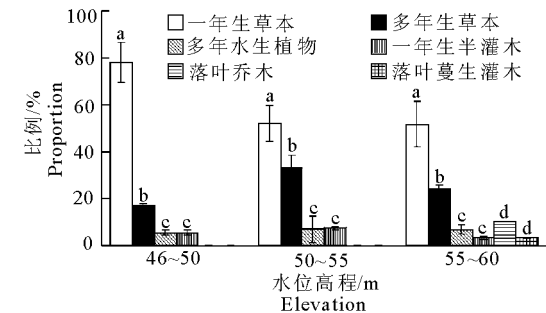


图 6 大宁水库消落带不同高程水位高程植物生活型占比
Fig.6 Plant life types within each elevation zone of the water-level-fluctuation zone of Daning reservoir

同,但均以一年生草本为主要优势生活型。低水位区(46~50 m)18种植物涵盖2种一级分类生活型(半木本、草本)和3种二级分类生活型(一年生草本、多年生草本、水生植物);其中,14种为一年生草本植物(77.78%),3种为多年生草本植物(16.67%),1种植物为一年生半灌木(5.56%),1种为多年生水生植物(5.56%);中水位区(50~55 m)27种植物涵盖2种一级分类生活型(半木本、草本)和3种二级分类生活型(一年生草本、多年生草本、水生植物),其中,14种植物为一年生草本(51.85%),9种植物为多年生草本(33.33%),2种为一年生半灌木(7.41%),2种为多年生挺水植物

(7.41%);高水位区(55~61 m)29种植物涵盖3种一级分类生活型(木本、半木本、草本)和6种二级分类生活型(乔木、灌木、半灌木、一年生草本、多年生草本、水生植物),其中,15种植物为一年生草本(51.72%),7种植物为多年生草本(24.14%),3种植物为落叶乔木(10.34%),2种为多年生挺水植物(6.90%),1种为一年生半灌木(3.45%),1种为落叶蔓生半灌木(3.45%),落叶蔓生灌木和落叶乔木生活型只在高水位区发现。表2中,第一级分类所占总比例计算可知,草本类(89.19%)>木本类(5.41%)>半木本类(4.05%),说明草本类是消落带植被群落的主要建群种;其中,一年生草本共占据58.1%,多年生草本和水生植物共占据31.07%,且以一年生草本为主要优势生活型。

本研究表明,3种水位区的主要优势物种无显著差异($P>0.05$),低水位区和中水位区植被生活型也无显著差异($P>0.05$),但高水位区显著高于低水位区($P<0.05$)和中水位区($P<0.05$),原因在于低水位区的草本类植被占该区域的比例多于高水位区,高水位区比低水位区新增了生长环境较为稳定的木本类落叶乔木和落叶蔓生灌木植被。可见水位波动可直接影响消落带区植被生活型种类。

3 讨论

3.1 不同水位高程消落带植物的多样性变化

消落带经历周期性的浪淘和水蚀,导致该区域的自然植被剥离,再经风化裸露退化成水陆生态系统的隔离带(卢刚等,2016);隔离带干湿交替的土壤环境不利于大多数植物的生长繁殖(李振海等,2015);有些植物可能来自邻近区域,而更多的可能是在经历水库水位涨落前以种子库形式存在的植物种子(朱妮妮等,2015)。本研究中,大宁水库消落带仅发现 19 科、37 属、45 种植物,主要是以菊科、蓼科、藜科、莎草科、萝藦科和禾本科为主的植物群落。三峡库区万州段(145~175 m)消落带植被调查结果显示,在该区域发现 22 科、47 属、51 种植物,多以禾本科、菊科、蓼科、莎草科为主,以狗牙根为主要优势种(张志永等,2016);三峡库区香溪河段(145~175 m)消落带植被调查表明,该区域发现共 23 科、49 属、51 种植物,禾本科、菊科植物为该区的优势科(付娟等,2015)。除了均表现为植物科属数较少、丰富度较低外,还发现消落带内多以适应性强的禾本科、菊科植物为主要优势种;另外,也可能是由于研究区域自然环境差异导致优势植物种有所差异。从植被出现频率看,本研究中植被出现频率均较低,仅有 2 种植物出现频率超过 35%,分别是绵毛酸模叶蓼和灰绿藜,其余 25 种的出现频率低于 5%,其主要影响因素可能是区域生境的稳定性。原因在于生境片段化直接影响局部小生境的土壤条件,导致植被在该区域的生产力和稳定性降低,最终直接影响植被种类和出现频率(Bao et al,2015)。水位变动是影响消落带植被、环境以及生态系统结构和功能的关键影响因素(Raytha et al,2019);其中消落带植物群落组成与格局分布随水位高程变化表现出一定的规律性(Solovjova,2019)。在三峡水库水位升高的条件下,郭燕等(2019)发现消落带植被分布规律为“中间高度膨胀”模式,即物种多样性指数呈先增加、后减少趋势;但张志永等(2016)认为多样性指数呈缓慢增加。本研究中,物种丰富度、香农多样性、均匀度及辛普森优势度指数均表现为随水位梯度升高而增加,与后者结果类似,原因主要在于低、高水位区明显不同的受淹次数和频率(陈忠礼等,2012)。植被株高和总盖度作为群落结构的代表性指标,受水位波动的显著影响(张志永等,2016)。两者随着水位升高而显著增加,黎杨等(2017)对贵阳红枫湖水库消落带的研究与本文结果一致。高水位

区干扰因素趋于单一、空间异质性较小、土壤环境和植被群落结构稳定(Zhang et al,2017),也因此有益于植被的生长繁衍(简尊吉等,2017)。

3.2 不同水位高程消落带植物生活型的空间变化

植被一般通过个体自身和群体两个层次去适应环境,大多数植被选择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、形态上表现出不同的生活型(姜汉桥,2010);反之,植被生活型反映群落生境(Raytha et al,2019)。三峡水库秭归段消落带一年生和多年生草本在蓄水初期前分别占总生活型的 20.45%和 36.36%(王晓荣等,2010);有学者在三峡水库秭归段消落带历经周期性蓄水后的一年生和多年生草本的调查结果为 64.1%和 22.0%(郭燕等,2019)。本研究中,两者占总生活型的比例分别为 58.1%和 31.07%,与后者结果类似。原因在于历经周期性蓄水的消落带遭受多次水位涨落的扰动,生境变得比较恶劣,需要长时间完成整个生命周期的多年生草本植物较难存活,而一年生草本植物能够在较短的时间内完成整个生活史,次年依靠临近种源或者土壤种子库又开始新的生命周期,更容易在干扰剧烈的环境下生存(付娟等,2015)。因此,一年生草本为消落带区的主要优势生活型。不同高程水位波动区的优势种存在差异(Feng et al,2018),从植物个体生存适应特征看,周期性的淹水环境导致群落结构简单化,具有 r 对策种群特征的植物成为优势种(刘明芹,2010)。本研究中,低水位区的优势种为绵毛酸模叶蓼,高水位区为狗尾草。表现出植物个体较小、营养生长期相对较短、结实早、种子多等 r 对策种群特征的现象(姜汉桥,2010),大量的小体形种子会借助风力作用相对较快地在消落带区生长繁殖(王晓荣等,2010)。

参考文献

- 陈忠礼,袁兴中,刘红,等,2012. 水位变动下三峡库区消落带植物群落特征[J]. 长江流域资源与环境,21(6):672-677.
- 方精云,王襄平,沈泽昊,等,2009. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性,17(6):533-548.
- 付娟,李晓玲,戴泽龙,等,2015. 三峡库区香溪河消落带植物群落构成及物种多样性[J]. 武汉大学学报(理学版),61(3):285-290.
- 郭泉水,洪明,康义,等,2010. 消落带适生植物研究进展[J]. 世界林业研究,23(4):14-20.
- 郭燕,杨邵,沈雅飞,等,2018. 三峡库区消落带现存草本植物组成与生态位[J]. 应用生态学报,29(11):3559-3568.

- 郭燕,杨邵,沈雅飞,等,2019. 三峡水库消落带现存植物自然分布特征与群落物种多样性研究[J]. 生态学报, 39(12):4255-4265.
- 简尊吉,马凡强,郭泉水,等,2017. 三峡水库峡谷地貌区消落带优势植物种群生态位[J]. 生态学杂志, 36(2):328-334.
- 姜汉桥,2010. 植物生态学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社:242-246.
- 郎慧卿,1999. 中国湿地植被[M]. 北京:科学出版社:264-265.
- 黎杨,陈忠婷,夏品华,等,2017. 红枫湖水库消落带植物物种组成及群落物种多样性研究[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 30(2):244-250.
- 李新,高芳,郭晓,等,2017. 三峡水库建成后对消落带植被的影响[J]. 科技经济导刊, (2):177-178.
- 李振海,蔚辉,邹小雯,2015. 南水北调中线北京市大宁调蓄水库工程水环境问题及保护措施[J]. 水利发展研究, 15(9):6-10.
- 刘明芹,2010. 三峡库区澎溪河流域消落带植物群落特征及优势种群生态位研究[D]. 武汉:华中农业大学.
- 卢刚,徐高福,刘乐群,等,2016. 中国水库消落带植被恢复研究进展[J]. 浙江林业科技, 36(1):72-80.
- 孟凯,金泽,于京波,2016. 项目后评价方法及在大宁调蓄水库工程中应用[J]. 科技视界, (21):283-284,294.
- 庞志研,叶瑞兴,胡凯浩,等,2012. 国内水库消落带水土保持适用植物研究进展[J]. 科技创新与应用, (19):144.
- 彭淑芳,2016. 大宁水库主坝首次蓄水安全监测分析[J]. 北京水务, (6):33-36.
- 孙昊苏,2018. 大宁调蓄水库水源地节水保障措施[J]. 北京水务, (1):51-53.
- 孙昊苏,李垒,2019. 大宁调蓄水库水生态监测成果分析及评价[J]. 水资源开发与管理, (6):12-18.
- 王晓荣,程瑞梅,肖文发,等,2010. 三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系[J]. 生态学报, 30(21):5821-5831.
- 文小平,胡红亮,2016. 水库消落带植物措施设计建议[J]. 中国水土保持, (5):55-57.
- 吴征镒,1980. 中国植被[M]. 北京:科学出版社:143-149.
- 徐高福,胡广,斯幸峰,等,2015. 千岛湖生境片段化与生物多样性研究综述[J]. 林业调查规划, 40(5):42-48.
- 徐华山,赵磊,孙昊苏,等,2017. 南水北调中线北京段水质状况分析[J]. 环境科学, 38(4):1357-1365.
- 杨瀚,许佳宾,黄鹤,等,2017. 无人船测绘系统对大宁水库的水下地形测绘[J]. 北京测绘, (S2):51-54.
- 由永飞,杨春华,雷波,等,2017. 水位调节对三峡水库消落带植被群落特征的影响[J]. 应用与环境生物学报, 23(6):1103-1109.
- 袁博宇,2016. 南水北调大宁调蓄水库水生态环境现状及对策[J]. 北京水务, (5):13-16.
- 张志永,程郁春,程丽,等,2016. 三峡库区万州段消落带植被及土壤理化特征分析[J]. 水生态学杂志, 37(2):24-33.
- 国家林业和草原局,2009. LY/T 1820-2009 野生植物资源调查技术规程[S]. 北京:中国标准化出版社.
- 钟荣华,贺秀斌,鲍玉海,等,2015. 三峡水库消落带几种草本植物根系的垂直分布特征[J]. 水土保持通报, 35(6):235-240.
- 朱妮妮,郭泉水,秦爱丽,等,2015. 三峡水库奉节以东秭归和巫山段消落带植物群落动态特征[J]. 生态学报, 35(23):7852-7867.
- Bao Y H, Gao P, He X B, 2015. The water-level fluctuation zone of Three Gorges Reservoir—A unique geomorphological unit[J]. Earth-Science Reviews, 150:14-24.
- Fan Y, Liu W W, Wang J, et al, 2012. Riparian vegetation's responses to the new hydrological regimes from the Three Gorges Project: Clues to revegetation in Reservoir water-level-fluctuation zone[J]. Acta Ecologica Sinica, 32:89-98.
- Feng Y, Sun T, Zhu M S, et al, 2018. Salt marsh vegetation distribution patterns along groundwater table and salinity gradients in yellow river estuary under the influence of land reclamation[J]. Ecological Indicators, 92:82-90.
- Huang J J, Wang C, Fang B, et al, 2017. Characterization of Phosphorus Fractions in the Soil of Water-Level-Fluctuation Zone and Unflooded Bankside in Pengxi River, Three Gorges Reservoir[J]. Journal of Environmental Sciences, 38(9):3673-3681.
- Raytha de Assis Murillo, Diego Correa Alves, Rafaela dos Santos Machado, et al, 2019. Responses of two macrophytes of the genus Polygonum to water level fluctuations and interspecific competition[J]. Aquatic Botany, 157:10-16.
- Solovjova N V, 2019. Ecological risk modelling in developing resources of ecosystems characterized by varying vulnerability levels[J]. Ecological Modelling, 406:60-72.
- Wang L, Li Y M, Zhang C, et al, 2016. Effect of Soil and Dominant Plants on Mercury Speciation in Soil and Water System of Water-Level-Fluctuation Zone in the Three Gorges Area[J]. Environmental Science, 37(3):995-962.
- Zhang M, Chen F Q, Wu Y, et al, 2017. Characteristics of the soil seed bank of planted and natural restored draw-down zones in the Three Gorges Reservoir Region[J]. Ecological Engineering, 103:127-133.

Vegetation Distribution and Diversity in the Water-Level-Fluctuation Zone of Daning Reservoir, Beijing Section, Middle Route of the South-to-North Water Diversion

ZHANG Yi^{1,2}, YU Yi-lei^{1,2}, LI Sheng-nan^{1,2}, XU Wei-gang^{1,2}, LI Lei³, XU Da⁴, SUN Hao-su⁴

- (1.Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091,P.R.China;
- 2.Beijing Key Laboratory of Wetland Services and Restoration, Beijing 100091,P.R.China;
- 3.Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100089,P.R.China;
- 4.Daning Administration of Beijing South-to-North Water Transfer
- Project, Beijing 102442, P.R. China)

Abstract: Daning reservoir serves the important functions of water storage, drinking water supply and flood control, and provides critical support for riparian restoration in the Yongding River basin. In this study, an investigation of vegetation in the water-level-fluctuation zone of Daning reservoir was conducted along water level elevation gradients, focusing on species composition, height, coverage, abundance and type. The characteristics of vegetation composition, distribution and type were then analyzed based on importance value, diversity index using linear fitting statistical methods. In June 2019, samples were collected from a 15 m sampling belt within three water level elevation zones (46 – 50 m, 50 – 55 m, 55 – 61 m). The primary results were as follows: (1) A total of 45 plant species from 37 genera and 19 families were collected, with most genera represented by a single species and most families by a single genus. Compositae, Polygonaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae, Asclepiadaceae and Gramineae were the dominant families. The occurrence frequency of only two species (*Chenopodium glaucum* and *Conyza canadensis*) was above 35%, while the occurrence frequency of 53% species was less than 5%. The dominant species along the three elevation zones were *Rumex dentatus* (46 – 50 m), *Ixeridium dentatum* (50 – 55 m), and *Setaria viridis* (55 – 61 m). (2) Cluster analysis indicated three primary types of plant community in the reservoir water-level-fluctuation zone: *Polygonum lapathifolium* + *Conyza canadensis*, *Phragmites australis* + *Potentilla supina*, and *Setaria viridis* + *Crepidiastrum lanceolatum*. The community types within each elevation gradient were as follows: *Polygonum lapathifolium* + *Polygonum lapathifolium* (46 – 50 m), *Abutilon theophrasti* + *Artemisia argyi* (50 – 55 m), *Setaria viridis* + *Humulus scandens* + *Artemisia capillaris* (55 – 61 m). (3) The average height, coverage and biodiversity of the plant communities all increased with elevation. (4) According to the method of third-level plant life types, the plants in the water-level-fluctuation zone were divided into nine life types covering three first-level life types (woody, semi-woody, herbaceous) and six second-level life types (arbor, shrub, semi-shrub, annual herb, perennial herb, aquatic plant). Herbaceous plants were the primary group in the vegetation community of the water-fluctuation zone (89.19%), followed by woody plants (5.41%) and semi-woody plants (4.05%). In addition, annual herbaceous plants of the total life types were the dominant life type, accounting 58.11% of the total species. Our findings are crucial for the protection, restoration and reconstruction of vegetation diversity in the water-level-fluctuation zone of Daning reservoir.

Key words: Daning reservoir; water-level-fluctuation zone; plant diversity; importance value; life type