

金沙江白鹤滩库区巧家河岸带本底种子植物 物种组成及区系特征^{*}

傅 睿¹, 张 钊², 吉冬冬², 覃红玲², 王 萌², 黄巾娥², 张婉婷², 宋婉菱², 史邵华², 曾 波²

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 杭州 311122;

2. 西南大学 生命科学学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室

重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室, 重庆 400715)

摘要:【目的】考察受自然水位涨落影响的金沙江巧家河岸带的种子植物资源和物种构成,为白鹤滩水库成库后形成的水库消落区生态保护和治理修复工作中适宜植物的筛选提供基础数据。【方法】对白鹤滩水库建成前金沙江巧家河岸带的本底种子植物的物种组成进行实地调查并就这些植物的区系成分特征进行分析。【结果】1) 白鹤滩水库建成前金沙江巧家河岸带本底种子植物有 18 科 51 属 57 种,其中禾本科(Gramineae)物种数量最多,菊科(Compositae)物种数量次之。2) 草本植物是该河岸带本底种子植物中占绝对优势的生长型;地面芽植物和一年生植物是该河岸带本底种子植物中的优势生活型。3) 金沙江巧家河岸带本底种子植物区系成分具有明显的热带分布性质,热带分布类型的属有 35 个,占总属数的 68.6%,热带分布类型的物种数占总种数的 68.4%。【结论】深入分析金沙江河岸带植物的组成和特征对预测白鹤滩水库消落区未来的植物组成、植被演变以及消落区生态保护和治理修复工作中适宜植物的物种选择具有特别意义。

关键词:金沙江;白鹤滩水库;巧家;河岸带;植物组成;区系特征

中图分类号:Q14

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2022)06-0077-09

白鹤滩水电站是在金沙江下游干流修建的乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝四级梯级水电站中的第二级,坝址位于云南省巧家县大寨镇与四川宁南县白鹤滩镇的交界处,该电站以发电为主,兼有防洪、拦沙、改善下游航运条件、发展库区通航等功能^[1-2]。白鹤滩水电站是目前世界上单机容量最大、在建规模最大的水电站。该电站建成后,规模仅次于三峡水电站,为世界第二大水电站^[3-4]。白鹤滩水电站最大坝高 289 m,坝顶高程 834 m,控制流域面积约 $4.3 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。白鹤滩水电站设计死水位 765 m,最高蓄水位 825 m,总库容约为 $2.06 \times 10^{10} \text{ m}^3$,装机容量 $1.6 \times 10^7 \text{ kW}$,多年平均发电量约为 $6.24 \times 10^{10} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。白鹤滩水电站主体工程自 2017 年 8 月开始全面建设。2021 年 4 月 6 日白鹤滩水电站开始下闸正式蓄水,预计 2022 年内全部机组投产发电^[5]。

因防洪、发电、航运、灌溉等的需要,水库建成运行后会对水库水位进行调度,使之发生变化而在水库库岸形成水位消落区,简称水库消落区;这一区域通常指因水库调度水位周期性涨落而反复被淹没和出露的库岸区域。白鹤滩水库的水位运行方式为每年 5 月底水位降至 765 m,8 月上旬开始蓄水,9 月上旬可蓄水至正常蓄水位 825 m,并维持正常蓄水位运行至 12 月^[6]。水库建成运行后将在最低水位和最高水位之间形成落差高达 60 m 的水库消落区。白鹤滩水库库区内多呈深“V”型河谷,库岸坡度较大,水库成库后形成的消落区将受长时间高强度水淹和退水出露成陆的交替影响,生态环境将十分脆弱,消落区的生态保护和治理难度大。巧家县城区位于白鹤滩库区内,距离白鹤滩水库大坝约 41 km,是整个白鹤滩库区内最大的人口聚居地,也是该县的政治、经济、文化中心。巧家县城区至该县蒙姑镇段的金沙江两岸是白鹤滩库区内地势相对较缓的区域,具有阶地地貌,白鹤滩水库成库后会形成大面积的水库消落区。因此,巧家消落区在白鹤滩水库建成运行后的整个白鹤滩库区中显得尤为重要,该区域的生态保护治理是白鹤滩水库消落区生态保护治理的重点,对巧家县城区的生态环境质量、人居环境和经济社会发展有重要意义。

^{*} 收稿日期:2022-03-11 修回日期:2022-11-15 网络出版时间:2022-12-07 17:46

资助项目:国家自然科学基金(No. 31770465);国家重点研发计划课题(No. 2017YFC0505301)

第一作者简介:傅睿,男,高级工程师,研究方向为景观规划设计,E-mail:593259974@qq.com;通信作者:曾波,男,教授,博士生导师,E-mail: bzeng@swu.edu.cn

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20221207.1347.001.html

形成良好植被是水库消落区生态保护和治理的重要手段,而选择适应消落区环境、能够在消落区正常生长的植物是消落区内形成良好植被的关键。白鹤滩库区位于金沙江干热河谷区内,气温高蒸发量较大^[7-8],白鹤滩水库成库运行后,形成的消落区将每年被水库蓄水水淹,退水出露后又面临着库区干热环境。因此,只有既能耐受水淹又能适应干热环境的植物才能在未来的白鹤滩水库消落区生存和适用于消落区生态治理修复。在白鹤滩水库修建前,长期自然生长于金沙江河岸带的植物每年会因自然洪汛而被淹没,在出露后又面临干热环境,具有既耐受金沙江水淹胁迫又适应干热河谷环境的能力。这一能力使它们存在适应白鹤滩水库消落区环境的可能性,并成为潜在的适合未来该水库消落区生态保护和治理修复的物种。

到目前为止,还没有关于金沙江巧家河岸带植物资源及区系特征的研究报道,更没有以选育适合未来白鹤滩水库消落区生态保护和治理修复的植物为目标的金沙江河岸带植物研究。在金沙江河岸带自然生长和分布的植物中种子植物占了绝大多数,它们是未来白鹤滩水库消落区生态保护和治理修复工作中适宜植物选择的重要类群。本研究对白鹤滩水库未下闸蓄水前的金沙江巧家河岸带的种子植物物种资源状况和区系特征进行了调查分析,研究成果不仅可为白鹤滩水库成库后的巧家消落区生态保护治理工作提供帮助,同时也为未来研究整个白鹤滩水库消落区的生态演变提供基础资料。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区域概况

云南省巧家县位于金沙江下游,地理位置介于北纬 $26^{\circ}32'$ ~ $27^{\circ}25'$ 、东经 $102^{\circ}52'$ ~ $103^{\circ}26'$ 之间,与四川省宁南县隔江相望,气候为亚热带季风气候^[9]。当地年平均降雨量达 701 mm,干湿季节分明,5—10 月降雨量约占全年降雨量的 90%,11 月至翌年 4 月降雨量相对较少;当地年平均气温在 20°C 左右,年平均日照时数达 2 155 h,无霜期为 365 d^[8-10]。巧家县境内多高山深谷,地形地貌类型多变;海拔最高点位于药山主峰,海拔为 4 041.6 m;海拔最低点的海拔则低于 600 m。巧家县境内海拔差异较大,气候的垂直变化较为明显,有“一山分四季,十里不同天”的特点;当地土壤类型随着海拔升高而变化,依次为燥红土、红壤、黄棕壤、棕壤、暗棕壤和亚高山草甸土^[10]。巧家县境内的金沙江河谷地带位于干热河谷气候区内,土壤以燥红土为主;受焚风效应的影响,河谷内温度较高,蒸发量远大于降雨量,植被覆盖率低,水土流失严重,是生态脆弱地区和植被恢复困难地带。

1.2 研究方法 & 数据分析

本研究中,河岸带的范围为金沙江最低水位至汛期最高洪水位之间的河岸部分。2020 年 6—8 月,于植物生长旺季,选择水位较低、生长有植物的河岸区域充分出露的时期,对巧家县城至巧家县蒙姑镇段的笕槽沟、赵家坡、小沙沟、蒙姑等 4 个地点的金沙江河岸带的种子植物进行了调查。在上述各个地点沿河岸线选择 500 m 长且植被和植物能很好地体现和代表该处河岸带植被和植物总体情况的河段作为调查河段。记录每个调查河段的河岸带范围内所有种子植物的物种名称、生活型类型、生长型类型、植株高度和个体多度;汇总所有调查地点的河岸带种子植物信息,对河岸带种子植物的物种组成、生活型和生长型组成进行分析,并分析河岸带种子植物的区系组成特征。对种子植物的生长型划分采用 Whittaker 生长型系统,对生活型的划分采用 Ellenberg 和 Mueller-Dombois 生活型系统^[11];植物区系类型根据吴征镒先生《世界种子植物科的分布区类型系统》^[12]和《中国种子植物属的分布区类型》^[13]的分类系统进行划分。

2 结果

2.1 本底种子植物的物种组成

对白鹤滩水库成库运营前金沙江巧家河岸带本底植物资源和物种组成进行了调查,具体结果如表 1 所示。由表 2 可知,金沙江巧家河岸带本底植物共有 18 科 51 属 57 种,其中禾本科(Gramineae)植物的属数和种数占比最高。禾本科植物不仅是金沙江巧家河岸带植物中的绝对优势类群,而且它们的植株数量也是最多的。因此,整个金沙江巧家河岸带植被表现出以禾草为主的特点。除禾本科外,菊科(Compositae)植物也是巧家河岸带植被中较为优势的类群。与上述两科植物相比,金沙江巧家河岸带的其余 16 科本底种子植物的属数和种数占比都很低。

表 1 金沙江白鹤滩库区巧家河岸带本底种子植物物种组成

Tab. 1 The species list of background riparian seed plants of Jinsha river at Qiaojia section in Baihetan reservoir region

科名	属名	种名
唇形科(Labiatae)	广防风属(<i>Epimeredi</i>)	广防风(<i>Epimeredi indica</i>)
大戟科(Euphorbiaceae)	大戟属(<i>Euphorbia</i>)	飞扬草(<i>Euphorbia hirta</i>)
		齿裂大戟(<i>Euphorbia dentata</i>)
	叶下珠属(<i>Phyllanthus</i>)	叶下珠(<i>Phyllanthus urinaria</i>)
豆科(Leguminosae)	金合欢属(<i>Acacia</i>)	金合欢(<i>Acacia farnesiana</i>)
	山蚂蝗属(<i>Desmodium</i>)	三点金(<i>Desmodium triflorum</i>)
	银合欢属(<i>Leucaena</i>)	银合欢(<i>Leucaena leucocephala</i>)
	猪屎豆属(<i>Crotalaria</i>)	假苜蓿(<i>Crotalaria medicaginea</i>)
禾本科(Gramineae)	甘蔗属(<i>Saccharum</i>)	斑茅(<i>Saccharum arundinaceum</i>)
		甜根子草(<i>Saccharum spontaneum</i>)
	白茅属(<i>Imperata</i>)	白茅(<i>Imperata cylindrica</i>)
	双花草属(<i>Dichanthium</i>)	双花草(<i>Dichanthium annulatum</i>)
	马唐属(<i>Digitaria</i>)	马唐(<i>Digitaria sanguinalis</i>)
	尾稃草属(<i>Urochloa</i>)	尾稃草(<i>Urochloa reptans</i>)
	穆属(<i>Eleusine</i>)	牛筋草(<i>Eleusine indica</i>)
	狗尾草属(<i>Setaria</i>)	狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)
		皱叶狗尾草(<i>Setaria plicata</i>)
	雀稗属(<i>Paspalum</i>)	双穗雀稗(<i>Paspalum distichum</i>)
	黄茅属(<i>Heteropogon</i>)	黄茅(<i>Heteropogon contortus</i>)
	狗牙根属(<i>Cynodon</i>)	狗牙根(<i>Cynodon dactylon</i>)
	稗属(<i>Echinochloa</i>)	稗(<i>Echinochloa crusgalli</i>)
	筒轴茅属(<i>Rottboellia</i>)	筒轴茅(<i>Rottboellia exaltata</i>)
	千金子属(<i>Leptochloa</i>)	虬子草(<i>Leptochloa panicea</i>)
	牛鞭草属(<i>Hemarthria</i>)	牛鞭草(<i>Hemarthria altissima</i>)
	黍属(<i>Panicum</i>)	心叶稷(<i>Panicum notatum</i>)
	尖稃草属(<i>Acrachne</i>)	尖稃草(<i>Acrachne racemosa</i>)
	荻草属(<i>Arthraxon</i>)	荻草(<i>Arthraxon hispidus</i>)
锦葵科(Malvaceae)	木棉属(<i>Bombax</i>)	木棉(<i>Bombax ceiba</i>)
	赛葵属(<i>Malvastrum</i>)	赛葵(<i>Malvastrum coromandelianum</i>)
	黄花棂属(<i>Sida</i>)	云南黄花棂(<i>Sida yunnanensis</i>)
菊科(Compositae)	白酒草属(<i>Conyza</i>)	小蓬草(<i>Conyza canadensis</i>)
	苍耳属(<i>Xanthium</i>)	苍耳(<i>Xanthium strumarium</i>)
	鬼针草属(<i>Bidens</i>)	鬼针草(<i>Bidens pilosa</i>)
	蒿属(<i>Artemisia</i>)	五月艾(<i>Artemisia indica</i>)
	藿香蓟属(<i>Ageratum</i>)	藿香蓟(<i>Ageratum conyzoides</i>)
	假小喙菊属(<i>Paramicrorhynchus</i>)	假小喙菊(<i>Paramicrorhynchus procumbens</i>)
	鳢肠属(<i>Eclipta</i>)	鳢肠(<i>Eclipta prostrata</i>)
	银胶菊属(<i>Parthenium</i>)	银胶菊(<i>Parthenium hysterophorus</i>)
	羽芒菊属(<i>Tridax</i>)	羽芒菊(<i>Tridax procumbens</i>)

续表 1

科名	属名	种名
爵床科(Acanthaceae)	假杜鹃属(<i>Barleria</i>)	假杜鹃(<i>Barleria cristata</i>)
	狗肝菜属(<i>Dicliptera</i>)	优雅狗肝菜(<i>Dicliptera elegans</i>)
藜科(Chenopodiaceae)	藜属(<i>Chenopodium</i>)	土荆芥(<i>Dysphania ambrosioides</i>)
		藜(<i>Chenopodium album</i>)
蓼科(Polygonaceae)	蓼属(<i>Polygonum</i>)	水蓼(<i>Polygonum hydropiper</i>)
马鞭草科(Verbenaceae)	过江藤属(<i>Phyla</i>)	过江藤(<i>Phyla nodiflora</i>)
	马缨丹属(<i>Lantana</i>)	马缨丹(<i>Lantana camara</i>)
木麻黄科(Casuarinaceae)	木麻黄属(<i>Casuarina</i>)	木麻黄(<i>Casuarina equisetifolia</i>)
茄科(Solanaceae)	茄属(<i>Solanum</i>)	龙葵(<i>Solanum nigrum</i>)
		假烟叶树(<i>Solanum erianthum</i>)
桑科(Moraceae)	桑属(<i>Morus</i>)	桑(<i>Morus alba</i>)
莎草科(Cyperaceae)	莎草属(<i>Cyperus</i>)	香附子(<i>Cyperus rotundus</i>)
天南星科(Araceae)	芋属(<i>Colocasia</i>)	芋(<i>Colocasia esculenta</i>)
苋科(Amaranthaceae)	莲子草属(<i>Alternanthera</i>)	喜旱莲子草(<i>Alternanthera philoxeroides</i>)
	苋属(<i>Amaranthus</i>)	反枝苋(<i>Amaranthus retroflexus</i>)
鸭跖草科(Commelinaceae)	鸭跖草属(<i>Commelina</i>)	饭包草(<i>Commelina benghalensis</i>)
		鸭跖草(<i>Commelina communis</i>)
酢浆草科(Oxalidaceae)	酢浆草属(<i>Oxalis</i>)	酢浆草(<i>Oxalis corniculata</i>)

表 2 金沙江白鹤滩库区巧家河岸带本底种子植物各科具有的属和种的比例

Tab.2 Family composition, genus and species quantity and their proportion of background riparian seed plants of Jinsha river at Qiaojia section in Baihetan reservoir region

科名	属数	占总属数的百分比	种数	占总种数的百分比	科名	属数	占总属数的百分比	种数	占总种数的百分比
禾本科	17	33.34%	19	33.33%	鸭跖草	1	1.96%	2	3.51%
菊科	9	17.65%	9	15.79%	唇形科	1	1.96%	1	1.75%
豆科	4	7.85%	4	7.03%	蓼科	1	1.96%	1	1.75%
锦葵科	3	5.88%	3	5.27%	木麻黄科	1	1.96%	1	1.75%
大戟科	2	3.92%	3	5.27%	桑科	1	1.96%	1	1.75%
爵床科	2	3.92%	2	3.51%	莎草科	1	1.96%	1	1.75%
马鞭草科	2	3.92%	2	3.51%	天南星科	1	1.96%	1	1.75%
苋科	2	3.92%	2	3.51%	酢浆草科	1	1.96%	1	1.75%
藜科	1	1.96%	2	3.51%	合计	51	100.00%	57	100.00%
茄科	1	1.96%	2	3.51%					

注:表中各科的拉丁学名见表 1

2.2 本底种子植物的生长型和生活型

根据 Whittaker 的生长型系统,金沙江巧家河岸带本底种子植物的生长型仅有乔木、灌木和草本植物 3 种,不含亚灌木、藤本植物和附生植物(表 3)。在研究中调查发现的 57 种本底种子植物按生活型可分为地面芽植物、一年生植物、高位芽植物和地下芽植物,不含地上芽植物(表 3)。研究表明,草本植物是金沙江巧家河岸带本底种子植物中占绝对优势的生长型,地面芽植物和一年生植物是巧家河岸带本底种子植物中的优势生活型(表 4)。

表 3 金沙江白鹤滩库区巧家河岸带本底种子植物的生长型和生活型组成

Tab. 3 The growth forms and the life forms of background riparin seed plants of Jinsha river at Qiaojia section in Baihetan reservoir region

种名	生长型	生活型	种名	生长型	生活型	种名	生长型	生活型
广防风	草本植物	一年生植物	狗牙根	草本植物	地面芽植物	羽芒菊	草本植物	地面芽植物
飞扬草	草本植物	一年生植物	稗	草本植物	一年生植物	假杜鹃	灌木	地面芽植物
齿裂大戟	草本植物	一年生植物	筒轴茅	草本植物	一年生植物	优雅狗肝菜	草本植物	一年生植物
叶下珠	草本植物	一年生植物	虻子草	草本植物	一年生植物	土荆芥	草本植物	一年生植物
金合欢	灌木	高位芽植物	牛鞭草	草本植物	地面芽植物	藜	草本植物	一年生植物
三点金	草本植物	地面芽植物	心叶稷	草本植物	地面芽植物	水蓼	草本植物	一年生植物
银合欢	乔木	高位芽植物	尖稈草	草本植物	一年生植物	过江藤	草本植物	地面芽植物
假苜蓿	草本植物	一年生植物	荳草	草本植物	一年生植物	马缨丹	灌木	高位芽植物
斑茅	草本植物	地面芽植物	木棉	乔木	高位芽植物	木麻黄	乔木	高位芽植物
甜根子草	草本植物	地下芽植物	赛葵	灌木	地面芽植物	龙葵	草本植物	一年生植物
白茅	草本植物	地下芽植物	云南黄花棣	灌木	高位芽植物	假烟叶树	乔木	高位芽植物
双花草	草本植物	地面芽植物	小蓬草	草本植物	一年生植物	桑	灌木	高位芽植物
马唐	草本植物	一年生植物	苍耳	草本植物	一年生植物	香附子	草本植物	地下芽植物
尾稈草	草本植物	一年生植物	鬼针草	草本植物	一年生植物	芋	草本植物	地下芽植物
牛筋草	草本植物	一年生植物	五月艾	草本植物	地面芽植物	喜旱莲子草	草本植物	地面芽植物
狗尾草	草本植物	一年生植物	藿香蓟	草本植物	一年生植物	反枝苋	草本植物	一年生植物
皱叶狗尾草	草本植物	地面芽植物	假小喙菊	草本植物	一年生植物	饭包草	草本植物	地面芽植物
双穗雀稗	草本植物	地面芽植物	鳢肠	草本植物	一年生植物	鸭跖草	草本植物	一年生植物
黄茅	草本植物	地面芽植物	银胶菊	草本植物	一年生植物	酢浆草	草本植物	地面芽植物

注:表中植物的拉丁学名见表 1

表 4 金沙江白鹤滩库区巧家河岸带本底种子植物各生长型和生活型比例

Tab. 4 The proportional composition of growth forms and life forms of background riparian seed plants of Jinsha river at Qiaojia section in Baihetan reservoir region

种数及占比	生长型				生活型				
	乔木	灌木	草本植物	总计	地下芽植物	一年生植物	地面芽植物	高位芽植物	总计
种数	4	6	47	57	4	28	17	8	57
占比	7.0%	10.5%	82.5%	100.0%	7.0%	49.1%	29.9%	14.0%	100.0%

2.3 本底种子植物的分布区类型和区系分析

根据吴征镒先生建立的世界种子植物科的分布区类型系统^[9]和中国种子植物属的分布区类型系统^[13],本研究调查获得的金沙江巧家河岸带本底种子植物 18 个科可划分为世界分布、泛热带分布、热带亚洲和热带大洋洲分布、北温带分布等 4 个类型,51 个属可划分为 10 个分布区类型(表 5)。在科的区系成分中,金沙江巧家河岸带本底种子植物中世界分布科有禾本科、豆科、菊科、唇形科、莎草科、苋科、藜科和酢浆草科共 8 科,泛热带分布科有马鞭草科、锦葵科、大戟科、鸭跖草科、天南星科、茄科、桑科和爵床科共 8 科,热带亚洲和热带大洋洲分布科有木麻黄科,北温带分布科有蓼科。表 5 显示:在金沙江巧家河岸带种子植物的属的区系成分中,世界分布属有 10 个属;属于热带分布类型的属共有 35 个属,占总属数的 68.6%,其中又以泛热带分布属最多;北温带分布类型属较少,为 4 个属;东亚和北美间断分布属和地中海、西至中亚分布属最少,各仅有 1 个属。结合表 1 和表 5 可知,属于热带分布类型的种共有 39 个种,占总物种数量的 68.4%。科、属、种的地理分布类型分析结果表明,热带分布类型是金沙江巧家河岸带本底种子植物主要的分布类型。

表 5 金沙江白鹤滩库区巧家河岸带本底种子植物属的区系分布类型组成

Tab. 5 The genus areal-types of background riparian seed plants of Jinsha river at Qiaojia section in Baihetan reservoir region

分布区类型	属名	属数	占总属数的百分比
1. 世界分布	马唐属、莎草属、苍耳属、鬼针草属、黍属、蓼属、藜属、苋属、酢浆草属、茄属	10	19.6%
2. 泛热带分布	白茅属、猪屎豆属、金合欢属、穆属、银合欢属、雀稗属、黄茅属、莲子草属、狗牙根属、甘蔗属、千金子属、牛鞭草属、鸭跖草属、叶下珠属、黄花捻属、鳢肠属、大戟属、假杜鹃属、狗尾草属、狗肝菜属、白酒草属、马缨丹属	22	43.1%
3. 热带亚洲和热带美洲间断分布	藿香蓟属、银胶菊属、过江藤属、羽芒菊属	4	7.8%
4. 旧世界热带	双花草属、尖稃草属、木麻黄属	3	5.9%
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布	广防风属	1	2.0%
6. 热带亚洲至热带非洲	木棉属、尾稃草属、筒轴茅属、荩草属	4	7.8%
7. 热带亚洲(印度-马来西亚)	芋属	1	2.0%
8. 北温带	蒿属、稗属、桑属、赛葵属	4	7.8%
9. 东亚和北美间断	山蚂蝗属	1	2.0%
10. 旧世界温带			
11. 温带亚洲分布			
12. 地中海区、西亚至中亚	假小喙菊属	1	2.0%
13. 中亚			
14. 东亚(东喜马拉雅-日本)			
15. 中国特有分布			
合计		51	100.0%

注:表中各属拉丁学名见表 1

3 讨论

白鹤滩水电站建成运行后,将在金沙江上形成干流长约 182 km 的水库,对库区内沿线的巧家县、宁南县、会东县、会泽县、禄劝县以及昆明市东川区均有影响。由于巧家县淹没区面积在整个白鹤滩库区淹没区中拥有较高的占比,同时白鹤滩库区沿岸的人口聚居地主要位于巧家县内,因此白鹤滩水电站对巧家的影响更为明显。对金沙江流域的植物和植被尽管已有不少研究^[7,14-16],但对受金沙江自然水位涨落影响的金沙江河岸带植物和植被的研究非常少,而有关白鹤滩库区内金沙江河岸带植物的研究迄今为止尚未见报道。河岸带滨临河流水体,它的环境状况与非河岸带明显不同,主要表现为:河岸带距离河水更近,土壤基质的含水量通常比非河岸带土壤基质的含水量高,同时河岸带还时常会因河水水位上升而被淹没。因此,河岸带环境中生长的植物不可避免地要受河水水淹和水流冲刷的影响^[17-21]。水位高低、水流流速、水淹时长、水淹发生季节、水淹频率、河岸带形成年限的长短都会对河岸带植物的生长、植物的类型、物种组成产生明显的影响^[18,22-27]。白鹤滩库区位于金沙江下游的中段,受干热河谷气候影响明显^[10,15],在此干热河谷气候区内,白鹤滩库区金沙江河岸带植物是否会因自身环境水分条件好而表现出具有不同于非河岸带的植物区系特征和植物组成是一个非常值得研究的问题。

本研究调查发现,白鹤滩水库成库前的金沙江巧家河岸带共有种子植物 18 科 51 属 57 种,其中禾本科植物的物种数量占比最高。从生长型和生活型构成来看,生长型中草本植物物种占据绝对优势,占比超过了 80%;生活型中一年生植物物种占比最高,地面芽植物的占比次之,地下芽植物和高位芽植物物种较少,且未发现地上芽植物。从科的分布区类型来看,金沙江巧家河岸带种子植物 18 个科分为世界分布、泛热带分布、热带亚洲和热带大洋洲分布、北温带分布等 4 种类型,属于泛热带和热带区系类型的科共有 9 个。从属的分布区类型来看,金

沙江巧家河岸带种子植物 51 个属分为世界分布、泛热带分布、热带亚洲和热带美洲间断分布、旧世界热带分布、热带亚洲至热带大洋洲分布、热带亚洲至热带非洲分布、热带亚洲(印度-马来西亚)分布、北温带分布、东亚和北美间断分布、地中海区及西亚至中亚分布等 10 种类型,其中属于热带分布类型的属共有 35 个属,占总属数的 68.6%,属于热带分布类型的种共有 39 个种,占总物种数量的 68.4%,热带区系成分明显。金振洲等人^[15]对金沙江巧家至蒙姑段海拔 750~1 590 m 的干热河谷区域植物进行了调查,而这一区域距离金沙江河岸带很远(金沙江巧家至蒙姑段的常年平水水位为 652~655 m),属于非河岸带区域,在此区域共发现种子植物 138 种。对这 138 种种子植物的分布区类型进行分析后发现,属于热带分布类型的植物共有 102 个种,占比为 73.9%。比较金沙江巧家河岸带和非河岸带植物的区系组成,可以看出巧家河岸带植物和非河岸带植物都具有非常明显的热带区系特征,尽管河岸带植物热带分布类型物种占比要低于非河岸带植物的热带分布类型物种占比。可以看到,在干热河谷气候的大背景下,金沙江巧家河岸带的水文环境和水分条件尽管与非河岸带相比有很大差异,但这对植物的区系特征并不会产生非常大的影响;河岸带植物的区系成分仍然主要受干热河谷气候控制,与非河岸带植物呈现出相似的区系特征。

进一步与金振洲等人^[15]的研究结果加以比较,本研究发现尽管金沙江巧家至蒙姑河岸带和非河岸带的种子植物区系成分都以热带区系成分为主,但是这两个地带的植物物种的相似性较低:河岸带的 57 个物种和非河岸带的 138 个物种中,在河岸带和非河岸带均有生长和分布的种子植物物种仅有 19 个种。根据 Sørensen 指数公式^[28] ($\beta = \frac{2c}{a+b}$, 其中 β 、 a 、 b 、 c 分别表示 Sørensen 指数、甲地全部物种数、乙地全部物种数和两地共有物种数) 计算出金沙江巧家至蒙姑河岸带和非河岸带种子植物物种相似性系数仅为 0.19。因此,金沙江巧家河岸带不同于非河岸带的水分条件和水文水流环境对河岸带可生长和分布的植物物种仍然存在很大影响,只有适应河岸带环境的植物物种才能在这一地带中分布和生长。

白鹤滩水库成库运行后,将形成落差高达 60 m 的水库消落区,此消落区每年在白鹤滩水库蓄水时被淹没,水库退水后出露成陆而受到干热河谷气候影响。因此,在未来的白鹤滩水库消落区生长和分布的植物不仅需要具有耐受和适应水淹和高水分含量环境的能力,还需要同时具备耐受和适应金沙江干热河谷气候环境的能力。在白鹤滩水库建成之前,白鹤滩库区内只有金沙江河岸带生长的植物每年既经历水淹和高水分含量环境(尽管此水淹强度小于未来白鹤滩水库蓄水时的消落区水淹强度),又经受干热气候的影响,因此河岸带的现有植物物种组成将为未来白鹤滩水库消落区中能够生长和分布的植物物种组成提供重要的指示作用,而这些既能经受水淹又能耐受干热气候的植物最有可能成为在未来的白鹤滩水库消落区中能够自然生长和分布的植物。总而言之,深入分析金沙江河岸带植物的组成和特征对预测白鹤滩水库消落区未来的植物组成、植被演变以及消落区生态保护和治理修复工作中适宜植物物种的选择具有特别意义。

参考文献:

- [1] 任大春,樊义林,熊堃. 300m 级特高拱坝地震损伤特征分析[J]. 人民长江,2021,52(2):177-181.
REN D C, FAN Y L, XIONG K. Analysis of seismic damage characteristics of 300m-super high arch dam[J]. Yangtze River, 2021, 52(2): 177-181.
- [2] 孙洪亮,陈益民,蔡付林,等. 白鹤滩水电站输水发电系统水工模型试验研究[J]. 水电能源科学,2021,39(2):90-92.
SUN H L, CHEN Y M, CAI F L, et al. Experimental study on water conveyance system of Baihetan hydropower station[J]. Water Resources and Power, 2021, 39(2): 90-92.
- [3] FU G Y, SHE Y W, ZHANG G Q, et al. Lithospheric equilibrium, environmental changes, and potential induced-earthquake risk around the newly impounded Baihetan reservoir, China[J]. Remote Sensing, 2021, 13(19): 3895.
- [4] DUN J W, FENG W K, YI X Y, et al. Detection and mapping of active landslides before impoundment in the Baihetan reservoir area (China) based on the time-series InSAR method[J]. Remote Sensing, 2021, 13(16): 3213.
- [5] 张伟. 白鹤滩水电站 10 号机组投产发电 [EB/OL]. (2022-11-07) [2022-11-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1748765926537673853&wfr=spider&for=pc>.
ZHANG W. The 10th hydroelectric generating unit of Baihetan hydropower station starts to generate electricity [EB/OL]. (2022-11-07) [2022-11-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1748765926537673853&wfr=spider&for=pc>.
- [6] 黄仁勇. 长江上游梯级水库泥沙输移与泥沙调度研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2016.

- HUANG R Y. Study on the sediment transport and sediment operation of cascade reservoirs in the upper Changjiang river[D]. Wuhan: Wuhan University, 2016.
- [7] 金振洲, 欧晓昆. 滇川干热河谷植被布朗布朗喀群落分类单位的植物群落学分类[J]. 云南植物研究, 1998, 20(3): 279-294.
- JIN Z Z, OU X K. The phytosociological classification of Braun Blangute's syntaxa for the dry-hot valley vegetation in Yunnan-Sichuan region[J]. Acta Botanica Yunnanica, 1998, 20(3): 279-294.
- [8] 钟祥浩. 干热河谷区生态系统退化及恢复与重建途径: 以云南金沙江典型区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(3): 376-383.
- ZHONG X H. Degradation of ecosystem and ways of its rehabilitation and reconstruction in dry and hot valley: take representative area of Jinsha river, Yunnan province as an example[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2000, 9(3): 376-383.
- [9] 黄典. 基于 Aster G-DEM 的金沙江白鹤滩河段河谷地貌特征研究[D]. 南京: 南京大学, 2011.
- HUANG D. Geomorphic study of the Jinsha river valley in Baihetan reach based on Aster G-DEM[D]. Nanjing: Nanjing University, 2011.
- [10] 贺蕊. 金沙江巧家段河流阶地记录的干热河谷形成年代研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2018.
- HE R. Study on the formation age of the dry hot valley based on river terrace records in the Qiaojia section of Jinsha river[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2018.
- [11] 宋永昌. 植被生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- SONG Y C. Vegetation ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2017.
- [12] 吴征镒, 周浙昆, 李德铎, 等. 世界种子植物科的分布区类型系统[J]. 云南植物研究, 2003, 25(3): 245-257.
- WU Z Y, ZHOU Z K, LI D Z, et al. The areal-types of the world families of seed plants[J]. Acta Botanica Yunnanica, 2003, 25(3): 245-257.
- [13] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究, 1991, 13(S4): 1-139.
- WU Z Y. The areal-types of chinese genera of seed plants[J]. Acta Botanica Yunnanica, 1991, 13(S4): 1-139.
- [14] 曹敏, 金振洲. 云南巧家金沙江干热河谷的植被分类[J]. 云南植物研究, 1989, 11(3): 324-336.
- CAO M, JIN Z Z. Classification of vegetation in Qiaojia dry-hot river valley of Jinsha river, Yunnan[J]. Acta Botanica Yunnanica, 1989, 11(3): 324-336.
- [15] 金振洲, 欧晓昆. 干热河谷植被: 元江、金沙江、澜沧江[M]. 昆明: 云南大学出版社, 2000.
- JIN Z Z, OU X K. Vegetation of dry-hot valley: Yuanjiang, Nujiang, Jinshajiang, Lancangjiang[M]. Kunming: Yunnan University Press, 2000.
- [16] ZHU H, TAN Y H, YAN L C, et al. Flora of the savanna-like vegetation in hot dry valleys, southwestern China with implications to their origin and evolution[J]. The Botanical Review, 2020, 86(3/4): 281-297.
- [17] NILSSON C, KEDDY P A. Predictability of change in shoreline vegetation in a hydroelectric reservoir, northern Sweden[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1988, 45(11): 1896-1904.
- [18] NILSSON C, JANSSEN R, ZINKO U. Long-term responses of river-margin vegetation to water-level regulation[J]. Science, 1997, 276(5313): 798-800.
- [19] JANSSEN R, NILSSON C, DYNESIUS M, et al. Effects of river regulation on river-margin vegetation: a comparison of eight boreal rivers[J]. Ecological Applications, 2000, 10(1): 203-224.
- [20] HULTINE K R, BUSH S E, WEST A G, et al. Population structure, physiology and eco-hydrological impacts of dioecious riparian tree species of western North America[J]. Oecologia, 2007, 154(1): 85-93.
- [21] MALLIK A U, RICHARDSON J S. Riparian vegetation change in upstream and downstream reaches of three temperate rivers dammed for hydroelectric generation in British Columbia, Canada[J]. Ecological Engineering, 2009, 35(5): 810-819.
- [22] NOBLE R E, MURPHY P K. Short-term effects of prolonged backwater flooding on understory vegetation[J]. Castanea, 1975, 40: 228-238.
- [23] NILSSON C. Distribution of stream-edge vegetation along a gradient of current velocity[J]. Journal of Ecology, 1987, 75(2): 513-522.
- [24] SHAFROTH P B, STROMBERG J C, PATTEN D T. Riparian vegetation response to altered disturbance and stress regimes[J]. Ecological Applications, 2002, 12(1): 107-123.
- [25] HUGHES F M R, JOHANSSON M, XIONG S J, et al. The influence of hydrological regimes on sex ratios and spatial segregation of the sexes in two dioecious riparian shrub species in northern Sweden[J]. Plant Ecology, 2010, 208(1): 77-92.

- [26] AKMAN M, BHIKHARIE A V, Mc LEAN E H, et al. Wait or escape? Contrasting submergence tolerance strategies of *Rorippa amphibia*, *Rorippa sylvestris* and their hybrid[J]. Annals of Botany, 2012, 109(7): 1263-1276.
- [27] BELMAR O, BRUNO D, MARTÍNEZ-CAPEL F, et al. Effects of flow regime alteration on fluvial habitats and riparian quality in a semi-arid Mediterranean basin[J]. Ecological Indicators, 2013, 30: 52-64.
- [28] MAGURRAN A E, MCGILL B J. Biological diversity: frontiers in measurement and assessment[M]. Oxford: Oxford University Press, 2011.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Species Composition and Floristic Characteristics of Background Riparian Seed Plants of Jinsha River at Qiaojia Section in Baihetan Reservoir Region

FU Rui¹, ZHANG Zhao², JI Dongdong², QIN Hongling², WANG Meng²,
HUANG Jin'e², ZHANG Wanting², SONG Wanling², SHI Shaohua², ZENG Bo²

(1. Power China Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122;

2. Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in Three Gorges Reservoir Region,

Key Laboratory of Eco-Environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education),

School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: [Purposes] The study aims to inventory the background seed plant resources in the riparian zone of Qiaojia section of Jinsha river and to help selecting suitable plants for protecting Qiaojia drawdown zone when Baihetan reservoir is in full operation later. [Methods] The background seed plant resources and plant species composition in the riparian zone of Jinsha river at Qiaojia section, prior to the initial impoundment of Baihetan reservoir, were investigated. The floristic characteristics of the riparian plant species were analyzed. [Findings] It was found that: 1) 57 seed plant species belonging to 51 genera and 18 families grew and distributed in the riparian zone of Jinsha River at Qiaojia section, among which Gramineae ranked the first in number of species and Compositae ranked the second. 2) Among all riparian background seed plants of Jinsha river at Qiaojia section, herbaceous plants are dominant growth form, hemicytophyte and annual plants are dominant life forms. 3) The background seed plants in the riparian zone of Jinsha River at Qiaojia section had marked tropical characteristics, 35 genera, which takes a proportion of 68.6% of all genera and 68.4% of all species were tropical areal types. [Conclusions] Comprehensive analysis of plant composition and characteristics of Qiaojia riparian zone before the initial impoundment of Baihetan reservoir is of special significance for predicting future plant composition and vegetation evolution in the drawdown zone of Baihetan reservoir, and is conducive to help select suitable plants for vegetation restoration in the drawdown zone of Baihetan reservoir.

Keywords: Jinsha river; Baihetan reservoir; Qiaojia county; riparian zone; plant composition; floristic characteristics

(责任编辑 方 兴)