塔里木河上中游荒漠河岸林植物群落对淹灌的响应

李 金[1,3], 徐海量[2], 王勇辉[1,3], 赵新风[2], 高生峰[1,3]

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3. 自治区重点实验室 干旱区环境与资源实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘 要: [目的] 定量分析淹灌对典型断面荒漠河岸林植物群落的长势、植物多样性的影响,为今后改进干旱区科学补水方案,实现生态水高效利用提供理论依据。[方法] 通过 2016—2018 年 6 次在塔里木河上中游进行植被调查获得数据,运用 Pielou 指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数以及重要值等指标对淹灌的影响进行分析。[结果] 淹灌 2 a 后,塔里木河上中游新增了 11 种植物,主要是胡杨苗、柽柳苗、喜湿植物以及一年生草本,其中胡杨苗密度增加 0.72 株/m^2,增长率为 855.9%;柽柳新枝长增加 41.8 cm,增长率为 71.58%,胡杨长势得到好转:优、中等胡杨出现频率增加 0.11 株/m^2,增长率为 32%;随着距生态闸距离的增加,胡杨林密度有减小的趋势,林龄老龄化也逐渐凸显;林下物种多样性有随淹灌距离的增加而减少的趋势;距生态闸 300 m 范围内以胡杨、柽柳幼苗及喜湿的一年或多年生草本植物成为优势种(其重要值分别为0.243,0.195,0.248),大于 300 m 后优势种逐渐被柽柳、耐旱的多年生草本植物所取代,一年生草本植物、胡杨苗在距生态闸 450 m 后消失。[结论] 淹灌使荒漠河岸林植物群落更新能力增强,物种多样性增加。为了维持目前的生态好转趋势,淹灌工程需要继续开展。

关键词: 淹灌; 多样性指数; 重要值; 荒漠河岸林; 塔里木河上中游

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2019)03-0031-08 **中图分类号**: S727.22, S607+1

文献参数: 李金, 徐海量, 王勇辉, 等. 塔里木河上中游荒漠河岸林植物群落对淹灌的响应[J]. 水土保持通报,2019,39(3):31-38. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.03.006; Li Jin, Xu Hailiang, Wang Yonghui, et al. Response of riparian forest plant communities to flood irrigation in upper and middle reaches of Tarim River[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(3):31-38.

Response of Riparian Forest Plant Communities to Flood Irrigation in Upper and Middle Reaches of Tarim River

Li Jin[1,3], Xu Hailiang[2], Wang Yonghui[1,3], Zhao Xinfeng[2], Gao Shengfeng[1,3]

(1. *School of Geographic Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang* 830054, *China*; 2. *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang* 830011, *China*; 3. *Laboratory of Environment and Resources in Arid Region, Key Laboratory of Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang* 830054, *China*)

Abstract: [Objective] The influences of flooding on the growth and plant diversity of typical riparian forest communities in the desert was quantitatively analyzed in order to provide a theoretical basis for improving the scientific water replenishment plan and the efficient use of ecological water in arid area. [Methods] Data were obtained from vegetation surveys in the upper and middle reaches of the Tarim River from 2016 to 2018. The impacts of flooding were analyzed using the Pielou index, Shannon-Wiener index, Simpson index and important values. [Results] After flooding for 2 years, 11 new plants were found in the upper and middle reaches of the Tarim River, mainly *Populus euphratica*, *Tamarix chinensis*, hygrophilous plant and annual herb. The density of *P. euphratica* increased by 0.72 plants/m^2, with a growth rate of 855.9%. The new

收稿日期:2018-10-23 **修回日期**:2018-11-12

资助项目:国家自然科学基金项目"塔里木河胡杨径向生长与水分关系研究"(41461045); 新疆维吾尔自治区青年科技创新人才培养工程—优秀青年科技创新人才培养项目(2013721032)

第一作者:李金(1990—),男(汉族),河南省三门峡市人,硕士研究生,主要干旱区生态水文学的研究。E-mail:924083057@qq.com。

通讯作者:徐海量(1971—),男(汉族),江苏省宝应县人,博士,研究员,主要从事干旱区生态环境研究。E-mail: xuhl@163.com。

branch length of *T. chinensis* increased by 41.8 cm, and the growth rate was 71.58%. The growth of *P. euphratica* was significantly improved as the occurrence of good quality *P. euphratica* increased by 0.11 plants/m^2 with a growth rate of 32%. With the increase of the distance from ecological gate, the density of *P. euphratica* forest showed a tendency of decrease, and the aging of the forest became more prominent. The species diversity under the forest showed a tendency of decrease with the increase of the flooding distance. Within 300 m from the ecological gate, the seedlings of *P. euphratica*, *T. chinensis* and the hygrophilous one year or perennial herb became the dominant species (the important values were 0.243, 0.195 and 0.248, respectively). When the distance was greater than 300 m, the dominant species were gradually replaced by perennial herbs of *T. chinensis* and drought-tolerant herbs. The annual herb, *P. euphratica* and *T. chinensis* disappeared at 450 m away from the ecological gate. [Conclusion] Flooding irrigation enhanced the regeneration ability of plant communities and species diversity in desert riparian forests. In order to maintain the current ecological improvement trend, the flood irrigation project needs to be continued.

Keywords: irrigation; diversity index; important value; desert riparian forest; upper and middle reaches of Tarim River

荒漠河岸林植物群落在维护流域生态安全中发挥着重要的生态功能,它对稳定河道、维持流域生态平衡、防风固沙、调节绿洲气候起着至关重要的作用[1]。塔里木河上中游是以胡杨为建群种的荒漠河岸林集中分布区,但随着近年来人类社会对陆生生态系统的扰动加剧,大规模的水土开发,上中游生态用水被人类活动用水所挤占[2],地下水位大幅下降,导致天然的荒漠河岸林退化严重[3],表现为胡杨林大片枯萎,胡杨幼林更新困难,物种多样性锐减。为拯救脆弱的的生态环境,2016 年新疆维吾尔自治区人民政府开展了保护塔里木河源流及上中游胡杨林行动,其中,塔里木河上中游为重点试区之一;水作为影响干旱区生态系统稳定性的重要因素,能改变胡杨林的长势以及群落的结构和物种组成[4],但不同的补水方式对胡杨林长势及植物多样性的影响程度不同。国内外许多学者开展了关于洪水(河水)漫溢干扰、线状输水对植物群落恢复的研究工作,例如漫溢对群落再生潜力及对植物群落的组成和分布的作用[5-8];漫溢干扰对群落生物多样性的影响[9-11],国内一些学者也在塔里木河等流域开展了漫溢干扰对植物群落影响和恢复的相关研究,特别是在塔里木河下游开展线状生态输水工程对荒漠河岸林植物群落建群种胡杨径向生长量[12]、物种多样性[13]、种群结构[14]、生理特征[15]、生态效益[16]等方面做了许多研究工作,为塔里木河流域乃至干旱区河流的治理提供了很多宝贵意见和措施。2016 年实施胡杨林保护行动以来,少有学者对该工程在塔里木河上中游荒漠河岸林物种恢复、植物多样性保护方面进行探讨和研究。本文以塔里木河上中游为研究靶区,根据实地野外数据调查,定量分析淹灌对典型断面荒漠河岸林植物群落的长势及植物多样性影响,以期为今后改进干旱区科学补水方案,实现生态水高效利用提供理论依据。

1 研究区概况

研究区处于 39°30′—43°08′N,73°10′—94°05′E 之间,为塔里木河上中游,上游系指从阿克苏河、叶尔羌河、和田河三河交汇的肖夹克至轮台县的英巴扎[17];中游位于塔河英巴扎大桥至恰拉范围内[18],为典型的温带干旱大陆性气候,年平均气温 10.5 ℃～11.4 ℃,年与日温差均较大,年潜在蒸发量 2 000～2 900 mm,而年降水量仅为 30～50 mm,干旱指数介于 28～80 之间;植被组成简单、稀疏,乔灌草 3 层结构明显,乔木主要为胡杨(*Populus euphratica*)、灰杨(*P. pruinosa*);灌木主要为柽柳(*Tamarix ramosissima*)、黑果枸杞(*Lycium ruthernicum*)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)等;草本植物主要有芦苇(*Phragmites communis*)、大花罗布麻(*Apocynum handersoni*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)等。

2 研究方法

2.1 补水方案的实施

在 2016—2018 年新疆维吾尔自治区所执行的“塔里木河源流胡杨林保护行动”项目的支持下,于塔里木河上中游开展了胡杨林淹灌监测实验,沙雅、轮台为上中游重点胡杨林保护区,上游依靠 21 口生态闸,2018 年漫灌胡杨林面积约 30 820 hm^2,影响范围约 56 420 hm^2;中游依靠 28 口生态闸,2018 年漫灌胡杨林面积约为 17 893.33 hm^2,影响范围约34 106.67 hm^2。

2.2 典型断面及样点布设

本研究重点监测区设置在塔里木河上中游沙雅县内吐江生态闸、轮台县内乌斯坦生态闸和砍白生态闸,为降低经纬度、海拔、气温、降雨量、地下水水位、土壤等因素对胡杨林物种多样性的影响,有目的在同一纬度、距离跨度不大的前提下以生态闸口为中心,布置辐射状重复样带(3～4 条);每条样带按 150～

200 m 间隔布设 25 m×25 m 的乔木样方 4 个;每个乔木样方内随机测 2 个 5 m×5 m,3 个 1 m×1 m 灌、草样方。

2.3　监测指标选取和测量

2016 年、2017 年、2018 年对同一样地 3 条重复样带进行重复监测,监测时间为每年 6 月中旬,分别将 2016 年各样点作为对照组(淹灌前情况),2017,2018 年作为试验组(淹灌处理)采用样地调查法[18]对输水样地和对照样地内的物种进行调查统计。

(1) 乔木。数样方内胡(灰)杨总株数,用皮尺和布鲁莱斯测高仪分别测量每株胡杨的胸径(D)、冠幅(C_w)及株高(H);长势调查参照玉米提等的方法:共分为优、良、中、较差、差 5 个等级,对应的分数分别是:8～10 分、6～8 分、4～6 分、2～4 分、0～2 分(表 1)。树高指树木从地面上根茎到树梢之间的距离或高度,胸径指乔木主干离地表面胸 1.3 m 高处的直径,根据前人研究结果,胸径为≤10 cm 的胡杨看作为幼龄胡杨,≤30 cm 的为中龄胡杨,≤70 cm 的为老龄胡杨[19]。

表 1　胡杨长势分等定级标准

长势等级	评分	胡杨总体状况和树形特征
优等	8～10 分	树木总体状况良好,大部分是原型树冠,树冠饱满,几乎没有受损的树形,深绿色树叶,树冠疏失度一般小于 10%
良好	6～8 分	树木总体状况令人满意,大部分是复合树冠,树冠有欠缺,树干枯死部分达树体的 1/4,叶色淡,树冠疏失度一般 11%～25%之间
中等	4～6 分	树木总体状况中等,二次和原型树冠并存,树干枯死部分超过树体的 1/3,树冠疏失度 26%～50%之间
较差	2～4 分	树冠有明显的欠缺,大部分是二次树冠枝干枯死部分超过树体的 2/3,树冠疏失度一般 51%～75%之间
差等	0～2 分	原型树冠几乎衰败,二次树冠发育不够,枝干、侧枝枯死部分超过树体的 3/4,仅有小数叶片,树冠疏失度一般 76%～100%

(2) 灌木。用卷尺测量每株(丛)灌木的冠幅(C_w)、株高(H),记录每种样方内灌木的总枝数(N),选取 3～5 个标准枝(n);新枝长调查:测量当年新枝长度。柽柳新枝长测量:在以上 3 个典型断面内,选择样方内柽柳,监测距生态闸口一定范围(200～500 米)内的柽柳新枝长。

(3) 草本植物。记录小样方内物种数(N)、每个物种个数(N_i)、冠幅(C_w)、株高(H)。

(4) 胡杨幼苗密度统计。在以上 3 个典型断面内,每个乔木样方内随机设置 3 个 1 m×1 m 的小样方,共 108 个,统计样方内的胡杨幼苗数量。

(5) 冠幅的测量。冠幅用树(苗)木的南北和东西方向宽度的乘积表示,灌木较矮可以直接测得,乔木可以测量其投影宽度获得。

2.4　数据处理

2.4.1　多样性指数计算　物种多样性的测度选用均匀度指数、优势度指数和物种多样性指数 3 类,物种多样性指数是用来描述种的个体出现的紊乱和不确定性的指标,不确定性越高,多样性也就越高;它包括两个因素:其一是种类数目,其二是种类中个体分配上的均匀性;种类数目越多,多样性越大,种类之间个体分配的均匀性增加,也会使多样性提高;均匀度指数是反映群落中不同物种的多度(频度、盖度或其他指标)分布的均匀程度的指标。计算公式为[20]:

Pielou 指数:

$$E=\frac{\sum P_i \ln P_i}{\ln S} \tag{1}$$

Shannon-Wiener 指数:

$$H=-\sum P_i \ln(P_i),\quad P_i=N_i/N \tag{2}$$

Simpson 指数:

$$D=1-\ln(\sum P_i)^2 \tag{3}$$

式中:S——物种数;N——全部种的个体总数;N_i——某种植物的个体数;P_i——某种植物出现的频率。

2.4.2　重要值(important value,Ⅳ)　重要值(Ⅳ)是表示群落中不同植物的相对重要性,以重要值为测度指标可以避免因植物个体大小、数量差异悬殊而导致过分地夸大一些个体小但个体数极多的植物种类在群落中的作用,能够为辨别树种是建群种、优势种还是伴生种提供重要依据[21]。

Ⅳ=(相对高度+相对盖度+相对频度)/3　(4)

其中,相对高度=(该种的高度/所有种的高度总和)×100%,相对盖度=(该种的盖度/所有种的盖度总和)×100%,相对频度=(该种的频数/所有种的频数)×100%。

3　结果与分析

3.1　淹灌前后荒漠河岸林植物群落变化

3.1.1　淹灌前后物种变化　通过塔里木河上中游淹灌 2 a 后调查样地发现 25 种植物,较淹灌前增加了 11 种,调查以豆科、菊科、禾本科为主,其次是柽柳科、藜科、杨柳科;生活型以多年生草本为主,其次是

灌木、一年生草本，分别占 71%，14%，9%，研究区内淹灌后新增物种有：苦豆子（*Sophora alopecuroides*）、蒲公英（*Taraxacum mongolicum*）、牛皮消（*Cynanchum auriculatum*）、鸦葱（*Scorzonera austriaca*）、胡杨（苗）（*Populus euphratica*）、早熟禾（*Poa annua*）、禾本科（*Gramineae* sp.）、多枝柽柳（苗）（*Tamarix ramosissima*）、刚毛柽柳（苗）（*T. hispida*）、猪毛菜（*Salsola collina*）、蓟（*Cirsium spicatum* sp.）（见表 2）。

表 2 淹灌前后出现的植物种类

编号	物种名称	种类	生活型	植物拉丁学名	淹灌前	淹灌后
1	蒲公英	菊 科	多年生草本	*Taraxacum mongolicum*		+
2	牛皮消	萝藦科	半灌木	*Cynanchum auriculatum*		+
3	蒿子	菊 科	多年生草本	*Artemisia* sp.	+	+
4	疏叶骆驼刺	豆 科	半灌木	*Alhagi sparsifolia*	+	+
5	芦 苇	禾本科	多年生草本	*Phragmites communis*	+	+
6	苦 蒿	菊 科	多年生草本	*Artemisia codonocephala*	+	+
7	棘豆	蝶形花科	多年生草本	*Oxytropis* sp.	+	+
8	禾本科	禾本科	多年生草本	*Gramineae* sp.		+
9	鸦 葱	菊 科	多年生草本	*Scorzonera austriaca*		+
10	花花柴	菊 科	多年生草本	*Karelinia caspica*	+	+
11	盐穗木	藜 科	灌 木	*Halostachys caspica*	+	+
12	委陵菜	蔷薇科	多年生草本	*Potentilla chinensis*	+	+
13	早熟禾	禾本科	一年生草本	*Poa annua*		+
14	胡杨（苗）	杨柳科	乔 木	*Populus euphratica*		+
15	黑果枸杞	茄科	灌 木	*Lycium ruthernicum*	+	+
16	多枝柽柳（苗）	柽柳科	灌 木	*Tamarix ramosissima*		+
17	刚毛柽柳（苗）	柽柳科	灌 木	*T. hispida*		+
18	铃铛刺	豆 科	灌 木	*Halimodendron halodendron*	+	+
19	胀果甘草	豆 科	多年生草本	*Glycyrrhiza inflata*	+	+
20	苦豆子	豆 科	一年生草本	*Sophora alopecuroides*		+
21	河西菊	菊 科	多年生草本	*Hexinia polydichotoma*	+	+
22	蓼子朴	菊 科	亚灌木	*Inula salsoloides*	+	+
23	大花罗布麻	夹竹桃科	半灌木	*Apoacynum handersoni*	+	+
24	猪毛菜	藜 科	一年生草本	*Salsola collina*		+
25	蓟	菊 科	多年生草本	*Cirsium* sp.		+

3.1.2 淹灌前后胡杨长势分析 在塔里木河上中游距生态闸口每个乔木样方内随机设置 3 个 1 m×1 m 的小样方，共 108 个，统计样方内的胡杨幼苗数量（图 1）。发现胡杨幼苗密度从 2016 年（补水前）的 0.08 株/m^2，增加到 2017 年的 0.33 株/m^2 和 2018 年的 0.80 株/m^2，胡杨苗增加了 0.72 株/m^2，增长率为 855.9%。说明生态补水促进了胡杨幼林的更新。

2016 年长势优等、良好、中等、较差和差等级的胡杨出现频率分别为 0.06，0.17，0.28，0.31，0.172 株/m^2，淹灌 2 a 后，长势优，良，中，较差和差等级的胡杨出现频率分别为 0.11，0.15，0.34，0.24，0.168 株/m^2，增长率分别为 78%，−15%，21%，−24%，−3%，由图 2 可以看出，经过 2 a 的淹灌，胡杨长势向优、中等级转化，胡杨林长势结构趋于优化（图 2）。

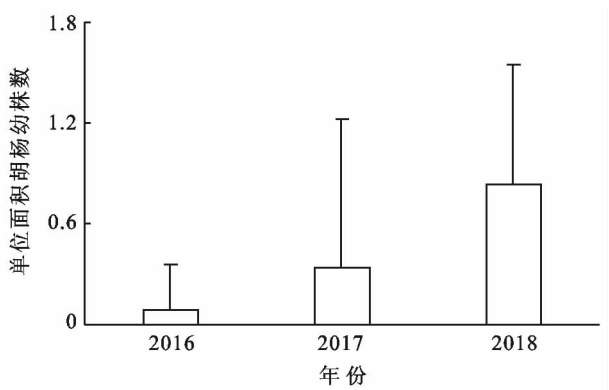


图 1 塔里木河上中游补水前后幼苗密度变化

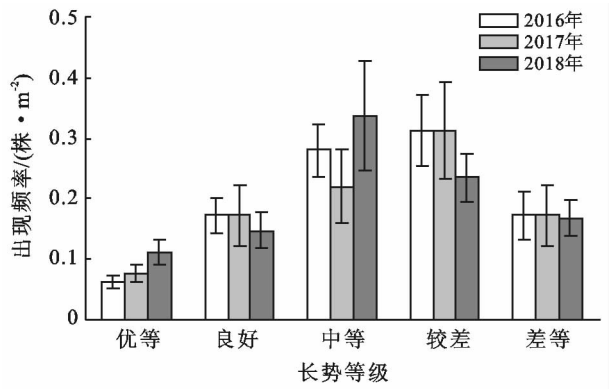


图 2 塔里木河上中游补水前后不同长势胡杨出现的频率

以塔里木河中、上游 3 个典型断面为例,监测距生态闸口一定范围(200—500 m)内的柽柳新枝长(图 3),发现柽柳在淹灌前 2016 年、淹灌后 2017 年、2018 年平均新枝长度分别 58.4,81.5,100.2 cm,增加了 41.8 cm,增长率为 71.58%,说明柽柳的地上生物量在淹灌后有所增加。

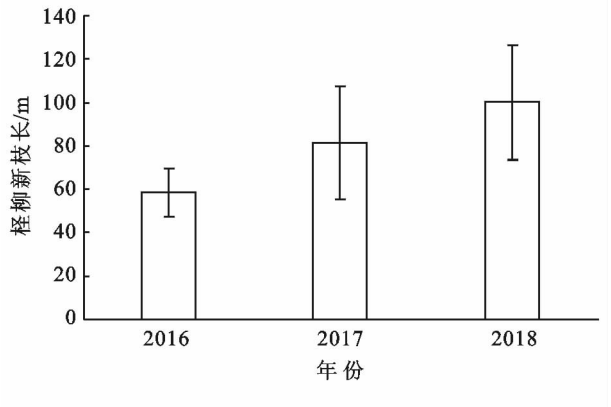


图 3　塔里木河上中游柽柳新枝长变化

3.2　淹灌后荒漠河岸林植物群落空间特征分析

3.2.1　不同淹灌距离胡杨林长势特征　在离生态闸 0—600 m 范围内胡杨林树高、冠幅均表现出随着距生态闸距离增大呈现出先增大后减少的趋势,呈倒"U"型分布,而胡杨胸径呈线性上升的趋势、胡杨密度(单位面积内胡杨数量)呈下降趋势。表 3 是胡杨长势与离生态闸不同距离的拟合函数,函数的一阶导数可以判断函数变化的单调性,从而表达胡杨长势的变化趋势,结果表现为:离生态闸 150 m 处树高均值为 4.30 m,在距生态闸 411 m 处胡杨树高均值最大为 11.11 m,而在距生态闸 600 m 处胡杨均高下降至 7.20 m;离生态闸 150 m 胡杨冠幅均值为 10.50 m^2,在距生态闸 354 m 处胡杨冠幅均值最大为 16.84 m^2,而在距生态闸 600 m 处胡杨冠幅均值下降至 12.14 m^2(表 3)。

离生态闸 0—185 m 范围内胡杨胸径均值为 8.4 cm(≤10 cm),该区域主要为幼龄胡杨林,在 185—480 m 范围内胡杨平均胸径为 27.30 cm(≤30 cm),该区域主要为中龄胡杨林;在大于 480 m 范围胡杨平均胸径为 39.86 cm(≤70 cm),该区域主要为为老龄胡杨林。塔河上、中游距生态闸 150,300,450,600 m 处胡杨密度均值分别是 0.32,0.22,0.15,0.06 株/m^2,说明随着淹灌距离的增加,胡杨林密度有减小的趋势,老龄化趋势也逐渐凸显。

表 3　塔里木河上中游胡杨长势变化分析

胡杨长势指标	曲线函数	R^2	指标变化趋势
胡杨树高	$y=-0.0001x^2+0.0822x-5.8333$	$R^2=0.99$	$0<x<411$,单调递增;$411\leqslant x<600$,单调递减
胡杨冠幅	$y=-0.0002x^2+0.1416x-8.2223$	$R^2=0.69$	$0<x<354$,单调递增;$354\leqslant x<600$,单调递减
胡杨胸径	$y=0.06859x-2.80522$	$R^2=0.99$	$0<x<600$,单调递增
胡杨林密度	$y=-0.0006x+0.4$	$R^2=0.99$	$0<x<600$,单调递减

3.2.2　淹灌不同距离林下植被多样性比较　针对不同生境的植物多样性进行对比(图 4),距生态闸 150 m处林下灌草植物多样性 Simpson 指数值较 300,450,600 m 处显著增大($p<0.05$);距生态闸 150 m 处 Shannon 指数值 300,450,600 m 处显著增大($p<0.05$);对于 Pielou 指数除距生态闸 300,450 m 处差异不显著外,其它处之间差异均显著($p<0.05$);距生态闸 150 m 处,受淹灌影响较大,此处河道渗漏水量也最多,因此林下灌草长势表现:植被多样性无论是 Simpson,Shannon,Pielou 指数值均较高,可以看出随着距生态闸的减小植物多样性、均匀度呈上升趋势:特别是在距生态闸 150 m 范围内,物种种类最多,并且各个物种数量、盖度、等特征之间的差距逐渐减小,植物群落中各个物种的分配比例趋于均匀。

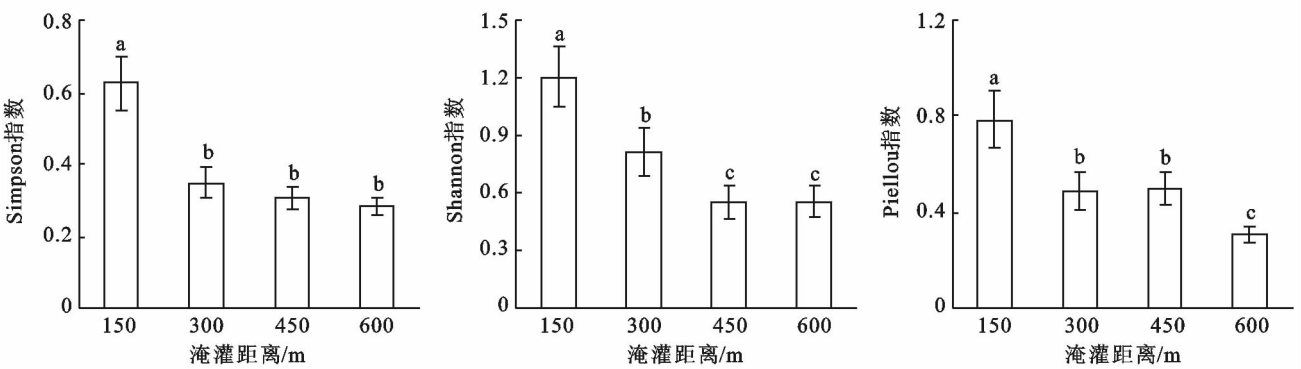


图 4　塔里木河上中游空间物种多样性变化分析

3.2.3 不同淹灌距离重要值比较 对于 3 个断面，将距生态闸不同距离上的平均值记为该生境的植被特征值，如离生态闸 150 m 处的植被特征是每一个断面 150 m 处植被特征的平均值。

本研究以重要值为指标，分析了淹灌 2 a 来不同淹灌距离上的优势种以及重要值变化特征(图 5)。距生态闸 150，300，450，600 m 处检测到的植物分别有 17，13，8，8 种，可以看出，随着淹灌距离的增加物种数有减少的趋势。距生态闸 150 m 处，因距补水水源最近，受补水影响大，表现为补水 2 a 后柽柳苗、胡杨苗萌发量大(重要值分别达到 0.29，0.19)；同时草本物种也大量萌发，如多年生草本芦苇、铃铛刺(平均重要值为0.167)；牛皮消、鸦葱等喜湿植物重要值也在 0.05 左右；以及一年生草本如苦豆子(重要值 0.012)；距生态闸 300 m 处，胡杨、柽柳幼苗重要值依然较高，说明生态补水效应对研究区建群种育苗更新的促进作用是显著的(柽柳苗重要值 0.196，胡杨幼苗 0.2)；其次多年生草本、灌木重要值靠前，多年生草本主要是蒲公英、鸦葱(平均重要值水平 0.125)，灌木是黑刺(重要值水平 0.125)；而其他如牛皮消、萎陵菜、莴苣等不耐旱植物，喜湿植物重要值大幅降低；也存在较少的一年生草本如早熟禾(重要值为 0.017)；距生态闸 450 m 处，胡杨苗重要值急剧下降仅为 0.056，一年生草本逐渐消失，喜湿植物牛皮消、莴苣、萎陵菜等重要值下降，而芦苇、柽柳、黑刺以及骆驼刺等抗旱的植物重要值上升；距离生态闸 600 m 处，物种减少，一年生草本以及胡杨幼苗、柽柳幼苗均消失，以甘草、柽柳为代表的多年生草本、灌木变为优势物种。

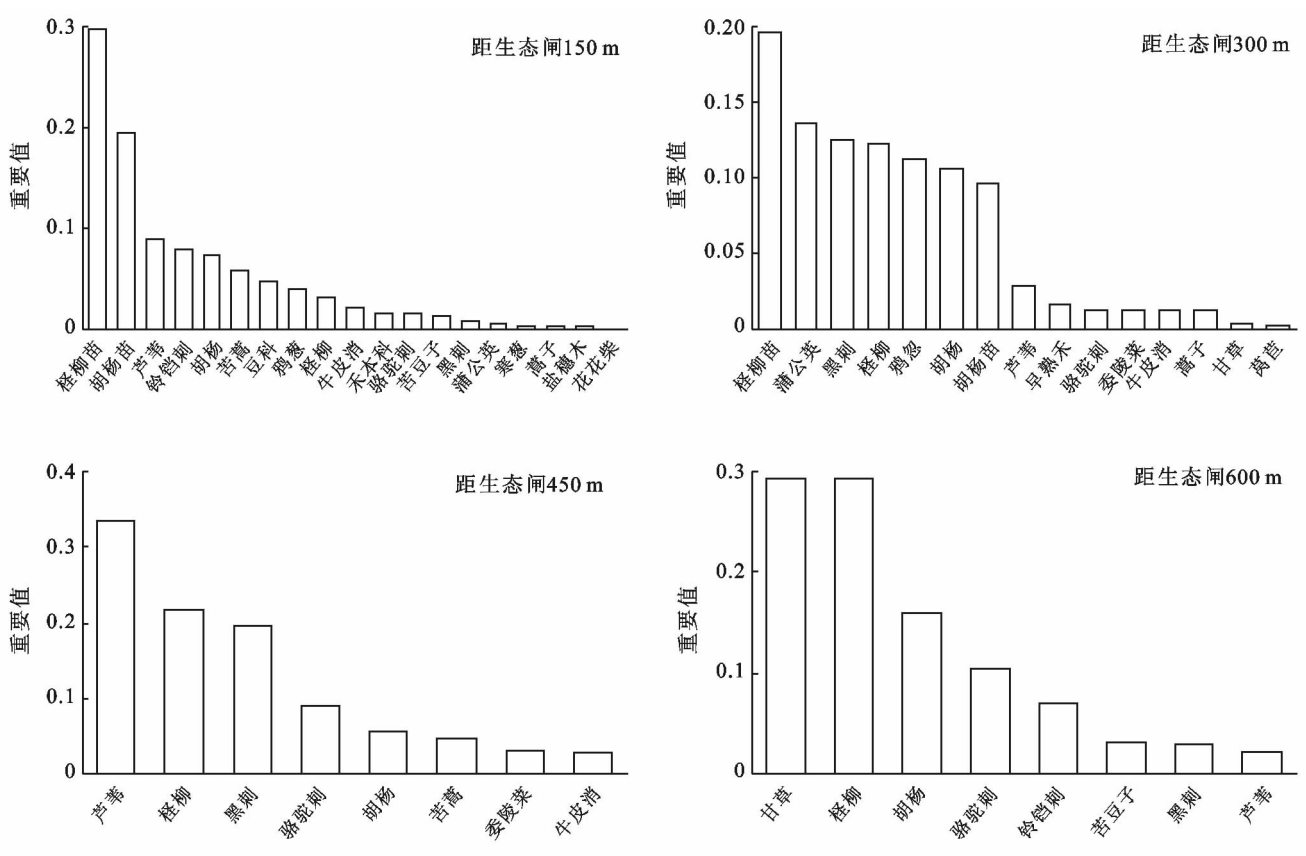


图 5 塔里木河上中游物种重要值排序

4 讨论与结论

4.1 讨 论

为了保护塔里木河上中游荒漠河岸林，塔里木河管理局 2016 年开始在塔里木河上中游开展胡杨林灌溉工程[3]，通过淹灌前后对比可知：胡杨苗、柽柳苗、喜湿植物、一年生草本在补水后大量出现，较淹灌前，胡杨苗密度平均增加了 0.72 株/m^2，增长率为 855.9%；柽柳新枝长平均增加了 41.8 cm，增长率为 71.58%。①淹灌过程激活了一些植物的土壤种子库，本区主要的建群种胡杨和柽柳，它们的种子从落种到有萌发活力的持续时间一般不足 20 d，5—10 月胡杨均在飘种，因此，5—9 月的补水均会为种子萌发提供机会；②一般在土层 2 cm 以下种子所提供的能量不能使上胚轴破土萌发，因此种子萌发繁殖较困难，但适当淹灌也增加了种子的萌发概率。③一年生草本和一些

喜湿植物的种子、根置于浅层土壤中,适当淹灌增加表层土壤含水率,为其萌发(孽)提供了良好的条件;这与徐海量等[22]在塔里木河下游所做的土壤种子库实验结论相似。

为了进一步分析淹灌对荒漠河岸林的影响,我们对离生态闸 150,300,450,600 m 这 4 个不同的生境进行分析,可知:①随着淹灌距离的增加胡杨树高、冠幅呈先升高后下降的趋势,胸径呈上升的趋势,胡杨密度呈下降的趋势,随着生态闸距离增加,分布较均匀,聚集强度较小,离生态闸越远地下水位越深,胡杨密度降低,林地更新方式演变为在母树周围发生根萌或枝萌,聚集强度加大,胡杨老龄树、枯树比例增加[23]。②距离生态闸 300 m 范围内,样地内共发现 17 种植物,比 300 m 范围外多 10 种,该区域地下水位较高,淹灌洗盐同时提高了表层土壤含水率,浅根系植物得以萌发(蘖),胡杨、柽柳苗、多年生草本喜湿植物(芦苣、萎陵菜等)以及一年生草本(牛皮消、苦豆子、早熟禾等)大量出现并形成重要值较大,成为该区域的优势物种,这些植物的大量出现对淹灌的响应分析具有重要的意义[24];距离生态闸 150 m 范围内的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数分别为 0.63,1.21,0.79,与距生态闸 150—600 m 范围的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数差异均显著($p<0.05$),说明淹灌促进了该区域新物种的萌发,形成群落物种多样性明显提升。③距离生态闸大于 300 m 的区域,一年生草本、植物幼苗锐减,样地内仅有 8 种植物,淹灌虽然可以提高该区浅层土壤含水量,给种子萌发提供适宜环境,但由于蒸发强烈、地下水位相对较深,盐渍化也较为严重,很难实现幼苗—幼林的过渡阶段,往往在种子萌发后数月便夭折,塔里木河洪水期一般在 7 月下旬到 8 月上旬,这与胡杨、柽柳、芦苇、骆驼刺发育期基本处于同一时期[22]。在洪水期的到来和淹灌的交错实施下,表层土壤黏粒和粉沙物质明显增多,会大大提升种子、幼苗的存活率[25];柽柳、骆驼刺等灌木和半灌木重要值水平较高,其抗旱能力较强,是该范围的优势物种,这些植物都具有深根系等抗旱特点[26]。建议继续开展淹灌工程,在补水量不超过有关部门规定的情况下,加大输水流速和洪水洪峰流量,增加固输水渠道,为更大范围的胡杨林提供补水条件。

4.2　结 论

(1) 塔里木河上中游淹灌后新增物种有 11 种,主要是喜湿植物以及一年生草本,胡杨苗、柽柳苗大量萌发,其中胡杨苗密度增加了 0.72 株/m^2,增长率为 855.9%;柽柳新枝长增加了 41.8 cm,增长率71.58%,优、中等长势的胡杨出现频率增加 0.11 株/m^2。

(2) 胡杨林树高、冠幅均表现出随着距生态闸距离增大呈现出先增大后减少的趋势,而胡杨胸径呈线性上升的趋势、胡杨密度呈下降趋势,随淹灌距离的的增加林龄老化现象出现。

(3) 塔里木河上中游淹灌后植物群落物种数、多样性随距生态闸距离的增加而减少;林下物种多样性有随淹灌距离的增加而减少的趋势;距生态闸 300 m 范围内以胡杨、柽柳幼苗及喜湿的一年或多年生草本成为优势种(重要值为 0.243,0.195,0.248),大于 300 m 后优势种逐渐被柽柳、耐旱的多年生草本所取代,一年生草本、胡杨、柽柳苗在距生态闸 450 m 后消失。

[参 考 文 献]

[1] 陈亚宁,张宏锋,李卫红,等. 新疆塔里木河下游物种多样性变化与地下水位的关系[J]. 地球科学进展,2005,20(2):158-165.

[2] 陆海曙. 基于博弈论的流域水资源利用冲突及初始水权分配研究[D]. 南京:河海大学,2007.

[3] 蔡立新,李娜,丁春元. 为了千年胡杨重现生机:新疆多措并举推进塔里木河流域胡杨林生态保护行动[J]. 新疆林业,2017(4):7-9.

[4] 陈芙蓉,程积民,刘伟,等. 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响[J]. 生态学报,2013,33(9):2856-2866.

[5] Trebino H J, Chaneton E J, Leon R J. Flooding, topography, and successional age as determinants of species diversity in old-field vegetation [J]. Canadian Journal of Botany, 1996,74(4):582-588.

[6] Baskin C C, Baskin J M. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination[M]. Academic Press, San Diego. 1998. 11-14.

[7] Peterson J E, Baldwin A H. Seeding emergence from seed banks of tidal freshwater wetlands: Response to inundation and sedimentation[J]. Aquatic Botany, 2004, 78(3):243-254.

[8] Florentine S K, Westbrooke M E. Invasion of the noxious weed *Nicotiana glauca* R. Graham after an episodic flooding event in the arid zone of Australia[J]. Journal of Arid Environments, 2005,60(4):531-545.

[9] Connell J H. Diversity in tropical rainforests and coral reefs[J]. Science, 1978,199:1302-1310.

[10] Michael H. A general hypothesis of species diversity [J]. The American Naturalist, 1979,113:81-101.

[11] Pollock M M, Hanley N T A. Plant species richness in riparian wetlands-a test of biodiversity theory[J].

Ecology, 1998,79:94-105.
[12] 安红燕,叶茂,徐海量,等.塔里木河下游胡杨径向生长量对生态输水的响应[J].中国沙漠,2011,31(4):957-962.
[13] 王蕾,罗磊,刘鹏,等.塔里木河中下游水分干扰对胡杨林群落物种多样性的影响[J].干旱区地理,2016,39(6):1275-1281.
[14] 张绘芳,李霞.塔里木河下游胡杨种群空间分布格局分析[J].西北植物学报,2006,26(10):2125-2130.
[15] 叶茂,徐海量,龚君君,等.不同胸径胡杨径向生长的合理生态水位研究[J].地理科学,2011,31(2):172-177.
[16] 杨丽雯,何秉宇,黄培祐,等.和田河流域天然胡杨林的生态服务价值评估[J].生态学报,2006,26(3):681-689.
[17] 韩路,王家强,王海珍,等.塔里木河上游胡杨种群结构与动态[J].生态学报,2014,34(16):4640-4651.
[18] 赵振勇,张科,卢磊,等.塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新[J].生态学报,2011,31(12):3322-3329.
[19] 买尔当·克依木. 不同长势及年龄组胡杨的茎流日变化特征研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2014.
[20] 白玉锋,徐海量,张沛,等.塔里木河下游荒漠植物多样性、地上生物量与地下水埋深的关系[J].中国沙漠,2017,37(4):724-732.
[21] 李卫红,徐海量,艾合买提·那尤甫.塔里木河下游输水与生态恢复监测初报[J].干旱区地理,2003.26(2):122-128.
[22] 徐海量,叶茂,李吉玫,等.河水漫溢对荒漠河岸林植物群落生态特征的影响[J].生态学报,2007,27(12):4990-4998.
[23] 张绘芳. 塔里木河下游植物群落结构特征及优势种群格局研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2007.
[24] 周斌. 河水漫溢对荒漠河岸林植被及土壤的影响[D].乌鲁木齐:新疆大学,2011.
[25] 周斌,徐海量,熊黑钢.河水漫溢对塔里木河下游土壤颗粒组成的影响[J].水土保持学报,2010,24(4):177-181.
[26] 闫玉春.科尔沁沙地九种灌木苗期水分生理与抗旱性研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2005.

(上接第 30 页)

[8] 张蕊,王媛,马丽娜等.三江源区退化人工草地、“黑土滩”和天然草地植物群落物种多样性[J].草地学报,2014,22(6):1171-1178.
[9] 孙磊,刘玉,武高林,等.藏北退化草地群落生物量与土壤养分的关系[J].草业科学,2016,33(6):1062-1069.
[10] 杨崇曜,李恩贵,陈慧颖,等.内蒙古西部自然植被的物种多样性及其影响因素[J].生物多样性,2017,25(12):1303-1312.
[11] 周华坤,赵新全,赵亮,等.高山草甸垂穗披碱草人工草地群落特征及稳定性研究[J].中国草地学报,2007,29(2):13-25.
[12] 赵丽娅,李元哲,陈红兵,等.科尔沁沙地恢复过程中地上定植群落与土壤种子库特征及其关系研究[J].生态环境学报,2018,27(2):199-208.
[13] 陈玫妃,曾辉,王钧,等.青藏高原高寒草地土壤水分生态特征研究现状[J].中国草地学报,2015,37(2):94-101.
[14] 白晓,张兰慧,王一博,等.祁连山区不同土地覆被类型下土壤水分变异特征[J].水土保持研究,2017,24(2):17-25.
[15] 朱美壮,王根绪,肖瑶,等.青藏高原多年冻土区高寒草甸土壤水分入渗变化研究[J].冰川冻土,2017,39(6):1316-1325.
[16] 秦莉,沈玉君,李国学,等.不同 C/N 比堆肥碳素物质变化规律研究[J].农业环境科学学报,2010,29(7):1388-1393.
[17] Chamizo S, Cantón Y, Miralles I, et al. Biological soil crust development affects physicochemical characteristics of soil surface in semiarid ecosystems[J]. Soil Biology & Biochemistry. 2012,49: 96-105.
[18] 常晶晶,徐丽,薛晶月,等.放牧强度对若尔盖高寒草甸土壤有机质和微生物的影响[J].草业学报,2018,27(1):22-31.
[19] 杨希智,王长庭,字洪标,等.三江源区不同建植年限人工草地土壤微生物群落结构特征[J].应用与环境生物学报,2015,21(2):341-349.
[20] 字洪标,刘敏,阿的鲁骥,等.三江源区不同建植年限对人工草地土壤微生物功能多样性的影响[J].生态学杂志, 2017,36(4):978-987.
[21] 冯瑞章,周万海,龙瑞军,等.江河源区不同退化程度高寒草地土壤物理、化学及生物学特征研究[J].土壤通报, 2010,41(2):263-269.
[22] 王长庭,曹广民,王启兰,等.三江源地区不同建植期人工草地植被特征及其与土壤特征的关系[J].应用生态学报,2007,18(11):2426-2431.
[23] 张玉萍,宋乃平,王兴,等.不同放牧制度对荒漠草原植物多样性及土壤理化性状的影响[J].北方园艺,2018(19):109-115.