

新疆塔里木河下游灌丛地上生物量及其空间分布

袁素芬^{1,2}, 陈亚宁^{1,*}, 李卫红¹, 刘加珍^{1,2}, 孟丽红^{1,2}, 张丽华^{1,2}

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院 北京 100039)

摘要:对塔里木河下游断流河道 2004 年 7 个地下水监测断面和 19 个植被样地的实测监测资料分析得出灌木生物量在空间分布的变化特征。在分析中分别选取了 3 个指标:灌木总生物量、多枝怪柳和刚毛怪柳的生物量。研究发现在纵向和横向上 3 项指标均呈现先增加后减小的单峰形式变化。在纵向上分别对 3 项指标在距离河道 0~200m 和 200~400m 范围内的分布情况进行比较,发现灌木在距离河道 200~400m 样地内分布占到总量近 70%;横向上灌木生物量的最大值出现在距离河道 450m 的样地内。总体来看,对于两个优势物种,由于两个物种生理生态特性的差异对于异质性环境的适应能力也不同,导致分布状况也各异。多枝怪柳有较广的生态适应性,因此广泛分布于塔里木河下游的各个环境梯度上,而刚毛怪柳对水盐条件的要求较高,仅分布在其中个别断面。影响灌木生物量变化的主要因子是地下水埋深,当地下水埋深小于 5m 时,怪柳处于良好生长状态;当地下水埋深大于 6m 后,怪柳的生长受到抑制,开始朝衰败方向发展。浅层土壤含水对于植物吸收利用水分而言意义不大,同时由于优势种怪柳具有独特的抗盐和适盐机制,该区的盐分对怪柳的生长也不构成威胁。本文旨在通过分析塔里木河下游灌木生物量变化特征及其影响因子,为干旱、半干旱地区植被的恢复和保护提供了理论依据。

关键词:新疆塔里木河下游;灌木生物量;空间分布;地下水埋深;地下水矿化度

文章编号:1000-0933(2006)06-1818-07 **中图分类号:**Q948.1 **文献标识码:**A

Analysis of the aboveground biomass and spatial distribution of shrubs in the lower reaches of Tarim River, Xinjiang, China

YUAN Su-Fen^{1,2}, CHEN Ya-Ning^{1,*}, LI Wei-Hong¹, LIU Jia-Zhen^{1,2}, MENG Li-Hong^{1,2}, ZAHNG Li-Hua^{1,2} (1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1818 ~ 1824.

Abstract: The aboveground biomass and spatial distribution of shrubs were obtained by analysing the data of 7 groundwater observation wells and 19 vegetation plots in the lower reaches of the Tarim River in 2004. It was found that the respective biomass of *Tamarix ramosissima* and *T. hispida* all presented a unimodal pattern of decreasing before increasing: Longitudinally, the aboveground biomass account for 70% of all within the scope of 0~200m by comparing the distribution of 0~200m and 200~400m apart from the river course; Transversely, the maximum appeared at the plot of 450m distance from the river course. As a whole, the different adaptability to environmental heterogeneity of *T. ramosissima* and *T. hispida*, resulted from the difference of physiological and ecological characteristics, led to the distribution of their own. *T. ramosissima* distributed widely in the lower reaches of Tarim River due to its eurytopicity, however, *T. hispida* appeared only at a few sections for its high requirement to moisture and salinity conditions. Groundwater depth was the main factor that influenced the change of the shrub biomass. When groundwater depth was less than 5m, *T.* grew well, however, it would be coerced seriously when the groundwater depth was more than 6m. The shallow water content of soil was meaningless to water utilization of plants, in addition, salinity is not the primary intimidator in this region because of having unique mechanism to adaptive and resistant the salinity. The aim of this paper was to

基金项目:中国科学院知识创新资助项目;国家自然科学基金重点基金(90502004,30500081)

收稿日期:2005-04-13; **修订日期:**2005-10-23

作者简介:袁素芬(1981~)女,山西晋中人,硕士生,主要从事环境生态研究. E-mail:yuansf-007@163.com

Foundation item: The project was supported by Chinese Academy of Science Program (No. kzcxl-08-03) and National Natural Science Foundation of China (No. 90502004,30500081)

Received date:2005-04-13; **Accepted date:**2005-10-23

Biography: YUAN Su-Fen, Master candidate, mainly engaged in environment and ecology. E-mail:yuansf-007@163.com

provide theoretical bases for the restoration and protection of vegetation in the arid and semi-arid region by studying the spatial distribution and influencing factors of shrub biomass.

Key words: shrub biomass; spatial distribution; the lower reaches of Tarim River, groundwater depth; groundwater mineralization

生物量是指个体、种群或群落的生物量数量的多少,是度量个体、种群的大小以及个体、种群在群落中的地位 and 作用的指标,同时也是反映群落或生态系统功能强弱的重要指标^[1]。自实行国际生物学计划(IBM)以来,生态系统生物量和生产力一直是生态学中的重要研究方向^[2,3],进入 20 世纪 80、90 年代,全球碳循环和全球变化与生物量的紧密联系^[4,5],又赋予生物量研究的新内容。灌木群落作为地球上一种重要的生态类型,有其自身形成、发展以及演化机制,它不仅是衡量生产力的重要指标,而且对群落的功能、演替阶段和特征有很好的指示作用。尤其对生态脆弱区而言,加强灌木生物量的研究,对保护生态和生物多样性具有重要意义。目前,研究灌木生物量已是植被生态学的主要内容之一,近年来,主要集中在灌木生物量的预测方法、模型以及与其他相关环境因子之间关系方面^[6-13]。在灌木地上生物量分布的研究中,刘国华等研究了岷江干旱河谷的 9 种灌丛发现其地上生物量随海拔升高而增加^[14,15],王春红等对河沟流域黄土地貌不同部位的植被群落、生物量变换进行了探讨^[16],以上这些成果都为研究荒漠河岸林灌木生物量提供了重要参考。本文结合样地调查,对塔里木河下游的 7 个典型断面的灌木地上生物量的空间分布进行了研究,试图揭示干旱荒漠区生态环境对灌木生物量的影响,从而为塔里木河下游植被恢复和生态保育提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于塔里木河下游大西海水库以下至台特玛湖,地处塔克拉玛干沙漠与库鲁克塔格沙漠之间,属大陆性暖温带、干旱沙漠性气候,生态环境极为脆弱。该区太阳年总辐射 5692 ~ 6360 MJ/m²,日照时数 2780 ~ 2980h,≥10℃ 的年积温为 4040 ~ 4300℃,平均日较差 13 ~ 17℃ 左右^[17],年降水量变化在 17.4 ~ 42.0mm 之间,气候干燥,多大风天气,是我国最干旱的一隅。在植被类型上,塔里木河下游沿河分布着荒漠河岸植被,局部地段有盐生荒漠植被发育,种类贫乏、结构单纯。代表性的典型植物有胡杨(*Populus euphratica*)、怪柳(*Tamarix* spp.)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)、芦苇(*Phragmites communis*)、罗布麻(*Poacynum hendersonii*)、骆驼刺(*Alhagi* sp.)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflate*)等,构成了乔木、灌木和草本植物群落。其中,区内的乔木主要是胡杨,灌木主要为怪柳、铃铛刺、黑刺等,常见的怪柳有多枝怪柳、刚毛怪柳,草本植物主要有芦苇、甘草、罗布麻、骆驼刺等。

2 材料与方法

2.1 样地布设

沿塔里木河下游河道(大西海子水库-台特玛湖)布置了 9 个地下水位监测断面(见图 1),选取了其中 7 个

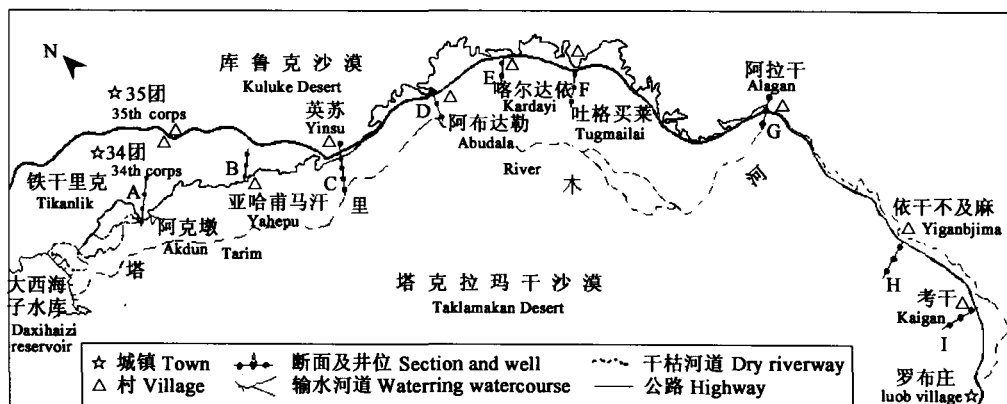


图 1 新疆塔里木河下游 9 个监测断面示意图

Fig.1 The distribution map of 9 investigation sections at lower reaches of Tarim River, Xinjiang

断面(注:以下均采用字母表示):即亚哈甫马汗(B),英苏(C),阿布达勒(D),喀尔达依(E),吐格买莱(F),阿拉干(G)和依干不及麻(H)等,建立灌木样地 19 个。其中,英苏断面设置了 5 个样地,最远距河道 1050m,最近为 50m。样地大小为 50m×50m,并以 25m 为间隔设置成 4 个 25m×25m 的灌木样方。分别记录每个样方中的物种数、植被盖度、个体数目、株高、冠幅、灌木基径等指标。同时记录每个样地的海拔高度、经纬度以及各样地的地下水位埋深。根据样地资料分析,主要灌木植物及其物种在群落中的性质(见表 1)。

2.2 样株测定与样品采集

在研究灌木的生物量时,以所获得资料不破坏当地的生物结构为准则,根据群落类型的不同^[18],选择 8 个监测断面,设置灌木生长比较均一的 30m×30m 的样地 2~3 个。其中,英苏断面作为典型断面设置 5 个样地。样地内采用标准木法和收割法取样,选择标准灌丛,每一灌丛按径阶分别测定基径、株高和冠幅,记录单株丛数。并按径阶选择大、中、小 3 种样株各 3 株,将 3 种样株的对应值分别相加求其均值,即代表灌丛的单株产量,再根据单株丛数和样地面积换算成单位面积产量。样株齐地面以 30cm 为一层,分层取样,将各层的活枝和叶分别称鲜重后带回试验室,在 80℃ 通风干燥箱内烘至恒温,计算各部分的含水率、样品的干鲜比。因工作条件限制,未作地下部分测定与采样。

3 结果与分析

3.1 灌木地上生物量的空间分布

塔里木河下游,距河道 0~200m 与 200~400m 的范围内,沿河道纵向上,灌木总生物量(TS)以及多枝怪柳(T.r)与刚毛怪柳生物量(T.h)在空间分布各有不同(图 2a~c)。三者生物量沿河道均呈现先增加后减小的单峰形式变化,灌木总生物量以及多枝怪柳生物量最大值出现在 F 断面,刚毛怪柳生物量最大值出现在 E 断面。从 B 断面至 D 断面,多枝怪柳和刚毛怪柳分布量较小;在 E 断面和 F 断面,怪柳的生物量达到最大值;从 G 断面往下,由于地下水位急剧下降,已无法满足怪柳生长的需要,植物长势呈现衰败态势,怪柳生物量下降。从多枝怪柳和刚毛怪柳的分布来看,多枝怪柳广泛分布在塔里木河下游各个断面(图 2b),并且在 200~400m 范围内的生物量较多;刚毛怪柳只分布在个别断面(图 2c),而且从整体数量较多枝怪柳小,但仍然反映出灌木集中分布在距离河道 200~400m 的范围内。从各断面灌木总生物量来看(图 2a),在 0~200m 范围,灌木总生物量值在 147.76~5.12g/m² 之间变化,200~400m 范围内,灌木总生物量值在 256.4~25.52g/m² 之间变化。通过分析可以发现,灌木生物量 70% 以上集中分布在 200~400m 的范围内,而乔木胡杨以及一些草本如芦苇和甘草占据在距离河道 200m 生境内。

表 1 新疆塔里木河下游灌木植物主要特征

Table 1 List of 17 most species in lower reaches of Tarim River, Xinjiang

编号 Code	种名 Species	性质 Character	盖度 Coverage(%)
1	多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	优势种 Dominant species	8.1
2	刚毛怪柳 <i>T. hispida</i>	优势种 Dominant species	0.12
3	黑刺 <i>Lycium ruthenicum</i>	伴生种 Companion species	0.01
4	铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>	偶见种 Incidental species	0.02
5	盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>	偶见种 Incidental species	0.001

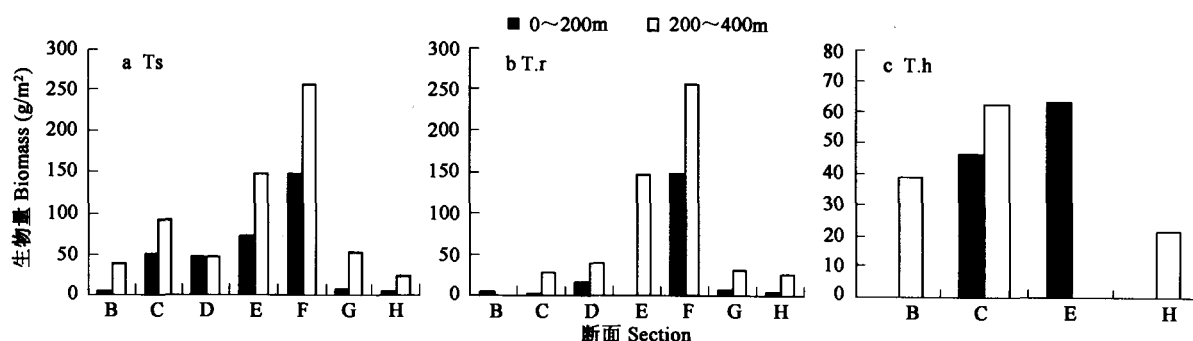


图 2 灌木生物量的纵向变化

Fig. 2 Logitudinal change of shrub biomass

在横向上,选取英苏断面各样地,分析了三者生物量的横向变化(图 3)。灌木总生物量(TS)、多枝怪柳生物量(T.r)以及刚毛怪柳生物量(T.h)变化趋势基本一致,三者随着与河道距离的增加,均呈现两头小中间高的单峰形式,而且变化幅度较大。对于灌木的总生物量(图 3a),变化幅度最大,在 $412.7 \sim 10.89 \text{g/m}^2$ 之间,最大值出现在距离河道 450m 处的样地内;对于灌木的分生物量,其多枝怪柳,在英苏断面的各样地均有分布,最大值 308.1g/m^2 也出现在距离河道 450m 的样地内(图 3b);而刚毛怪柳在英苏断面的分布没有多枝怪柳广泛,同时也没有多枝怪柳的变化幅度大,变化在 $104.6 \sim 5.7 \text{g/m}^2$ 间,最大值出现在距离河道 450m 处的样地内,最小值现在距离河道 750m 的样地内(图 3c)。在距河道 150m 范围内,刚毛怪柳生物量值比多枝怪柳大。刚毛怪柳属于喜盐的潜水性中生植物,在高水位($0.5 \sim 3 \text{m}$)生境中生长旺盛^[19,20]。在这个范围内,由于受生态输水的影响比较大,地下水位抬升幅度高,这种条件为刚毛怪柳提供了极好的生长环境,使之在该范围内的生物量超过了多枝怪柳。

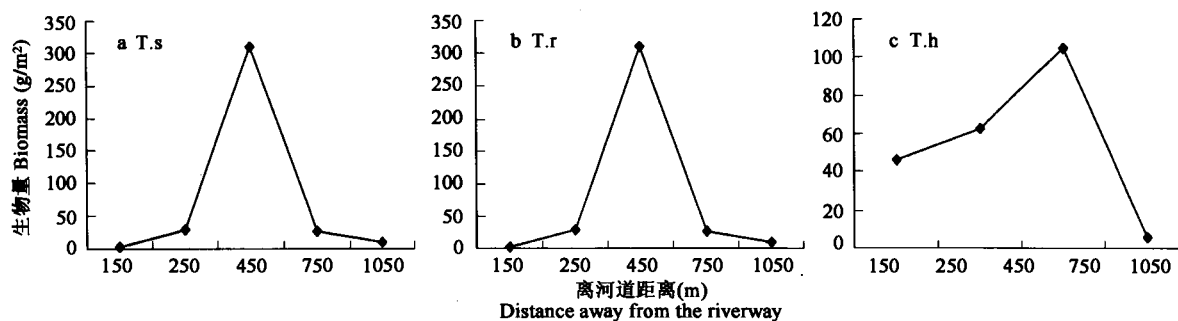


图 3 灌木生物量的横向变化

Fig.3 Transverse change of shrub biomass

3.2 浅层土壤含水对灌木生物量的影响分析

在塔里木河下游各断面,河岸两边土壤质地由以中细砂和粉砂为主的夹多层较薄亚粘土或粘土的典型土壤层组成。根据 2004 年实地调查,在距离河道 50m 范围内,土壤浅层 170cm 平均含水率在 $1.17\% \sim 11\%$ 之间变化;在距离河道 300m 范围内,土壤浅层 170cm 平均含水率在 $0.58\% \sim 4.31\%$ 之间变化。通过对比发现,除在 D 断面距离河岸 50m 范围,土壤含水率为 11% ,稍高于土壤凋萎系数 9.97% ,在其余地段,土壤含水率都低于土壤凋萎系数(图 4)。这说明在土壤蒸发活动强烈的塔里木河下游地区,由于地表强烈的蒸发活动,在浅层土壤中,水分含量极小,处于植物凋萎系数以下,怪柳根系无法从浅层土壤中吸收水分,能够维持怪柳生长的水分主要来自于地下水。这一点可以从怪柳的根系特征得到证明,怪柳是一种有大量根系通过毛细管作用和地下水接触的深根系植物,主根非常发达并且向下直伸,达到地下水后侧根大面积发生,主根、侧根、毛根共同组成相互交错的根系网,通过巨大的吸水面积吸收水分,保证地上部分充足的水分供应^[21]。

3.3 地下水埋深对灌木生物量的影响分析

灌木怪柳适生于河漫滩低阶地和扇缘地下水溢出带,但具有较广的生态适应性。当地下水位下降时,它向超旱生荒漠植被过渡;当地下水位上升时,盐渍化加重,它向盐生荒漠植被过渡^[22]。地下水位埋深 $1 \sim 2 \text{m}$ 的地方,这些灌木虽有分布但数量不多,盖度较小。地下水位埋深 $2 \sim 4 \text{m}$ 处,这些灌木所占比例渐大,盖度也相应加大。地下水位埋深达 6m 时,全剖面平均土壤含水量为 15% ,它们虽然能生存,但长势已弱。生长良好的怪柳种 95% 分布于地下水位埋深小于 5m 的区域内^[22]。

在实施生态输水之前,塔里木河下游英苏断面以下各断面的地下水位埋深都在 8m 以上,植物由于得不到

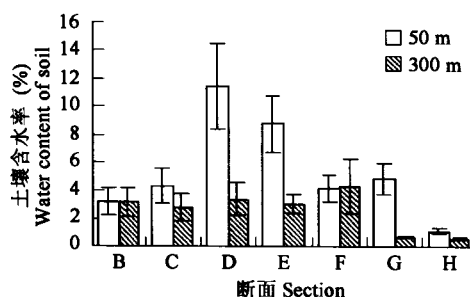


图 4 塔里木河下游浅层土壤含水率

Fig.4 The shallow water content of soil in lower reaches of Tarim River

水分补给,生长缓慢,呈现衰败态势。生态输水计划的实施,使得塔里木河下游各断面地下水位有不同幅度的抬升,但是仍呈现自上而下逐渐下降的趋势。经过几次生态输水之后,自 B 断面至 F 断面,地下水平均埋深为 4.63m,在这一区间,地下水埋深基本处在适宜柽柳生长的范围之内,灌木平均生物量为 180.93g/m^2 。自 G 断面至 H 断面,地下水平均埋深为 7.42m,在这一区间,柽柳平均生物量只有 45.87g/m^2 ,柽柳生物量呈递减趋势,而且愈往下降幅度愈大(图 5)。

3.4 地下水矿化度对灌木生物量的影响分析

柽柳是典型的泌盐性盐生植物,泌盐腺的分泌细胞含许多小的液泡,可主动将积累的盐分储存在液泡中而实现区隔化,维持细胞液中正常的渗透势^[23,24]。Glenn^[25]等人比较了科罗拉多河冲积平原上分布的柽柳及其他本土树种的生长率、耐盐性及水利用率,指出柽柳最高耐盐限为 32g/L ,远远高于其他树种,并且水分利用率不受盐碱程度的影响。

从各断面地下水矿化度变化可以看出,塔里木河下游各断面的地下水矿化度的变化范围在 $1.2 \sim 2.3\text{g/L}$ 之间,属于弱咸水(图 6)。说明经过几次生态输水后,浅层地下水的矿化度已经大幅度降低。根据实测资料,当地下水埋深在 $3.5 \sim 4.0\text{m}$ 时,土壤停止积盐; $3.0 \sim 2.5\text{m}$ 微弱积盐,从 2.0m 开始积盐速率提高^[22]。在塔里木河下游,各断面地下水埋藏较深,除距离河道较近的地段地下水埋深在 3m 左右外,一般都已超过了土壤发生蒸发活动的深度,土壤水分垂直运动微弱。根据“盐随水来,盐随水去”的规律,在土壤水分垂直运动微弱的情况下,土壤表层没有积盐现象发生。从柽柳耐盐的生理机制和耐盐程度来看,地下水的矿化度处于适宜柽柳生存的范围,地下水中的盐分对柽柳的生长不会构成威胁。

4 结论与讨论

柽柳是塔里木河荒漠河岸林的主要灌木,具有耐干旱、耐盐碱等生理特性,对于防风固沙和遏制沙漠化具有重要作用。对柽柳灌丛生物量变化的研究,能够加深对其群落结构和功能的认识,对于改善塔里木河下游恶劣的生态环境具有重要意义。通过对塔里木河下游灌木生物量的空间分布变化及影响其分布因子的分析,得到以下初步结论:

(1) 灌木生物量在 $0 \sim 200\text{m}$ 的范围内和 $200 \sim 400\text{m}$ 的范围内,生物量的分布变化趋势基本一致,但是对于不同的物种又略有不同。作为塔里木河下游的优势物种,多枝柽柳广泛地分布于塔里木河下游各个样地内,而且其生物量在总生物量中所占的比重很高,对于下游的灌木群落起着很重要的作用,而对于次优势种刚毛柽柳只分布在个别断面,这是因为不同种属植物对环境的适应性也存在一定差别。此外在个别样地内还发现有一些伴生种如黑刺、铃铛刺等,同时由于塔里木河下游生态环境的较大异质性也促使这些物种空间分布形成较大的异质性。

根据有关学者研究分析表明,荒漠河岸林的植被分布呈现很明显的空间异质性,以黑河下游荒漠河岸林为例,从河床至荒漠的优势种可划分为:胡杨种群、柽柳种群、苦豆子种群、红砂和白刺种群。从河床至荒漠典型样带上的群落学特性差异明显,胡杨种群一般分布在距河床 500m 的范围内,柽柳种群一般分布在 $500 \sim 1500\text{m}$ 的范围^[26],这种分布状况,正好与塔里木河下游的分布状况相似。在英苏断面,灌木生物量的最高值出

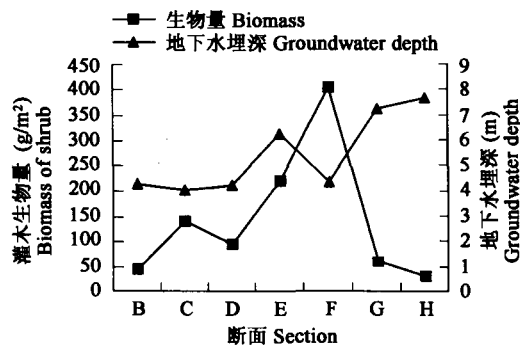


图 5 各断面的灌木生物量与地下水埋深

Fig. 5 The biomass of shrub and groundwater depth

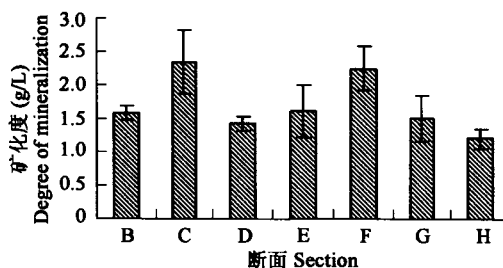


图 6 塔里木河下游各断面地下水矿化度

Fig. 6 The groundwater mineralization in lower reaches of Tarim River

现在距河道 450m 处,这是因为黑河和塔里木河同属于干旱区较长的内陆河,中下游都是由广大荒漠和荒漠组成河岸林生态系统,而且下游天然荒漠河岸林作为内陆河流域的生态屏障,具有重要的生态功能^[26]。对于二者下游荒漠河岸林生态系统都是由胡杨构成建群种,其他适应于荒漠河岸的水分与土壤条件的灌木、草本相结合共同聚成群落的。但是由于地形地貌以及各环境因子的组合多样性也会形成由不同类型植被构成的乔-灌-草植被群落,因此两者无论在地理位置、群落组成还是空间分布上都存在着极为相近的特征。

(2)地下水埋深是影响灌木分布范围和生物量大小的主导因子。在干旱区和半干旱区,水分是生物量形成的主要限制因子。在一定时间范围内,降水越多,群落第一净生产力越高^[9]。塔里木河下游地区特殊的干旱环境却使得降水对植被生长的影响微乎其微,土壤浅层含水量极小,维持天然植被生长所需的水分主要来自浅层地下水^[27]。地下水埋深的大小决定着灌木的分布和生物量的大小。研究结果表明,成熟柽柳个体的合理地下水埋深下限在 5m 以内,随地下水埋深的加大,其生长势逐渐变差,至 9m 以下时,大多数柽柳很难生存^[28]。而这正好与本项研究结果一致,柽柳生物量最大值出现在地下水埋深 4.52 m 以内范围的样地内,而在地下水埋深为 7m 以下的样地内则表现为很小。这种分布趋势也揭示了生态输水的影响范围,同时也表达了大多数植物只是依环境而生存,草本、灌木、乔木之间的相互依存作用较小。塔里木河下游植物种群的生存、演替,受物理环境支配明显强于群落的生物环境因素^[29,30],由于塔里木河下游长期断流,生态系统呈严重退化态势,群落退化特征集中表现在生态功能的丧失或退化上^[17]。

(3)柽柳作为塔里木河下游主要灌丛植被,具有防风固沙等重要生态防护价值,应该加强对其的保护和抚育更新。多枝柽柳与刚毛柽柳,对地下水、土壤水的要求低,耐受干旱的能力强,这是它们强大的根系与忍受干旱的内部结构决定的,但这是有限度的。水分对柽柳属植物分布具有重要影响,地表水是柽柳及其群落繁衍的关键。生态输水时间应该选择在大多数柽柳属植物种子成熟的夏秋季节,采用线性输水与面上输水相结合的方法,对沿河两岸沙荒地进行淤灌,为柽柳种子的着床、萌发、生长提供场所,从而促进柽柳群落的自然更新。

References:

- [1] Odum E P. Base of Ecology. Beijing: People Education Press, 1971.
- [2] Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Biomass and net production of forest vegetation in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(5): 479 ~ 508.
- [3] Feng Z H, Wang X K, Wu G. Biomass and production of forest vegetation in China. Beijing: Science Press, 1999. 1 ~ 6.
- [4] Apps M J, Price D T eds. Forest ecosystems, forest management and global carbon cycle. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- [5] Jacques Roy, Bernard Saugier, Harold A. Mooney. Terrestrial Global Productivity. San Diego, California: Academic Press, 2001.
- [6] Yang Y H, Rao S, Hu H F, et al. Plant species richness of alpine grasslands in relation to environmental factors and biomass on the Tibetan Plateau. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 200 ~ 205.
- [7] Liu Q. The species richness and biomass of plant communities along environmental gradients in the north shore of Qinghai Lake. *Acta Bot. Boreo-orientalis Sinica*, 2000, 20(2): 259 ~ 267.
- [8] Chen X L, Ma Q Y, Kang F F, et al. Studies on the biomass and productivity of typical shrubs in Taiyue Mountain, Shanxi Province. *Forest Research*, 2002, 15(3): 304 ~ 309.
- [9] Cheng W L, Liu H Y, Wang S D. The studies on the relation between the biomass and the factors influencing it. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*, 2000(3): 285 ~ 288.
- [10] Zhang J Y, Zhao H L, Cui J Y, et al. Biomass of *Agriophyllum squarrosum* community and its function on mobile sand dune in Horqin sandy land. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(3): 152 ~ 154.
- [11] Li G T, Qing F C, Jia S Y, et al. Study on biomass estimation models of xerophyte shrub. *Journal of Inner Mongolia Forestry College*, 1998(2): 25 ~ 31.
- [12] Li W C, Ge Y, Pan B R, et al. The self-similarity models between shoot structure and biomass of *Haloxylon ammodendron* in the Taklamagan Desert, China. *Journal of Biomathematics*, 2003, 18(4): 477 ~ 481.
- [13] Zhao C Y, Song Y D, Wang Y C, et al. Estimation of aboveground of desert plants. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(1): 49 ~ 52.
- [14] Liu G H, Ma K M, Fu B J, et al. Aboveground biomass of main shrubs in dry valley of Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1757 ~ 1764.
- [15] Liu G H, Zhang J Y, Zhang Y X, et al. Distribution regulation of aboveground biomass of three main shrub types in the dry valley of Minjiang River. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(1): 24 ~ 32.
- [16] Wang Ch H, Wang Zh G, Tie M, et al. Study on spatial variety of soil moisture and distribution of vegetation and biomass in Hegou small watershed. *Science of Soil and Water Conservation*, 2004, 2(2): 18 ~ 23.

- [17] Zhang H F, Chen Y N, Chen Y P, *et al.* Species quantity change and ecosystem dynamics in the lower reaches of Tarim River. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(4): 21 ~ 24.
- [18] Liu J Z, Chen Y N, Li W H, *et al.* Analysis on the distribution and degraded succession of plant communities at lower reaches of Tarim River. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 379 ~ 383.
- [19] Zhang D Y, Yang W K, Pan B R, *et al.* Characters of *Tamarix hispida* wild communities and its ecological & physiological adaptation. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(4): 446 ~ 451.
- [20] Zhang D Y, Yin L K, Pan B R. Study on drought-resisting mechanism of *Tamrix* L. and Assessing of its potential application, *Journal of Desert Research*, 2003, 23(3): 252 ~ 256.
- [21] Brotherson J D, Winkle V. Habitat relationships of saltcedar (*Tamarix ramosissima*) in central Utah. *Great Basin Naturalist*, 1986, 46: 535 ~ 541.
- [22] Song Y D, Fan Z L, *et al.* Research on water resources and ecology of Tarim River, China. Urumchi: Xinjiang People's Publishing House, 2000. 216 ~ 217.
- [23] Bosabalidis A M, Thomson W W. Ultrastructural development and secretion in the salt glands of *Tamarix aphylla* L. *Journal of Ultrastructure Research*, 1985, 92: 55 ~ 62.
- [24] Thomson W W, Kathryn Platt-Aloia. The ultrastructure of the plasmodesmata of the salt glands of *Tamarix* as revealed by Transmission and Freeze-fracture electron microscopy. *Protoplasma*, 1985, 125: 13 ~ 23.
- [25] Glenn E. Growth rate, salt tolerance and water use characteristics of native and invasive riparian plants from the delta of the Colorado River, Mexico *Journal of Arid Environment*, 1998, 40(3): 281 ~ 295.
- [26] He Z B, Zhao W Z. Characteristics of spatial heterogeneity of the desert. *Journal Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(5): 591 ~ 596.
- [27] Xu H L, Song Y D, Wang Q, *et al.* The effect of groundwater level on vegetation in the middle and lower reaches of the Tarim River, Xinjiang, China *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(3): 400 ~ 405.
- [28] Chen Y N, Li W H, Chen Y P. Physiological response of natural plants to the change of groundwater level in the lower reaches of Tarim River, Xinjiang, *Progress in Natural Science*, 2004, 14 (11): 975 ~ 983.
- [29] Liu J Z, Chen Y N. Analysis on converse succession of plant communities at the lower reaches of Tarim River. *Arid land Geography*, 2002, 25(3): 231 ~ 236.
- [30] Huang P Y. *Desert Ecology*. Urumqi: Xinjiang University Press, 1993. 207 ~ 230.

参考文献:

- [1] 奥得姆. 生态学基础. 北京: 人民教育出版社, 1971.
- [2] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量. *生态学报*, 1996, 16(5): 479 ~ 508.
- [3] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力. 北京: 科学出版社, 1999. 1 ~ 6.
- [6] 杨元合, 饶胜, 胡会峰, 等. 青藏高原高寒草地植物物种丰富度及其与环境因子和生物量的关系. *生物多样性*, 2004, 12(1): 200 ~ 205.
- [7] 刘庆, 青海湖北岸环境梯度上植物群落的生物量与物种多样性及其相互关系. *西北植物学报*, 2000, 20(2): 259 ~ 267.
- [8] 陈退林, 马钦彦, 康峰峰, 等. 山西太岳山典型灌木林生物量及生产力研究. *林业科学研究*, 2002, 15(3): 304 ~ 309.
- [9] 成文联, 柳海鹰, 王世冬. 生物量与其影响因素之间关系的研究. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2000(3): 285 ~ 288.
- [10] 张继义, 赵哈林, 崔建垣, 等. 科尔沁沙地流动沙丘沙米群落生物量特征及其防风固沙作用. *水土保持学报*, 2003, 17(3): 152 ~ 154.
- [11] 李钢铁, 秦富仓, 贾守义, 等. 旱生灌木生物量预测模型的研究. *内蒙古林学院学报(自然科学版)*, 1998, (2): 25 ~ 31.
- [12] 李伟成, 葛澧, 潘伯荣, 等. 塔克拉玛干沙漠梭梭地上结构和生物量的自相似模型. *生物数学学报*, 2003, 18(4): 477 ~ 481.
- [13] 赵成义, 宋郁东, 王玉潮, 等. 几种荒漠植物地上生物量估算的初步研究. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 49 ~ 52.
- [14] 刘国华, 马克明, 傅伯杰, 等. 岷江干旱河谷主要灌丛类型地上生物量研究. *生态学报*, 2003, 23(9): 1757 ~ 1764.
- [15] 刘国华, 张洁瑜, 张育新, 等. 岷江干旱河谷三种主要灌丛地上生物量的分布规律. *山地学报*, 2003, 21(1): 24 ~ 32.
- [16] 王春红, 王治国, 铁梅, 等. 河沟流域土壤水分空间变化及植被分布与生物量研究. *中国水土保持科学*, 2004, 2(2): 18 ~ 23.
- [17] 张宏锋, 陈亚宁, 陈亚鹏, 等. 塔里木河下游植物群落的物种数量变化与生态系统动态研究. *生态学杂志*, 2004, 23(4): 21 ~ 24.
- [18] 刘加珍, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河下游植物群落分布与衰退演替趋势分析. *生态学报*, 2004, 24(2): 379 ~ 383.
- [19] 张道远, 杨维康, 潘伯荣, 等. 刚毛怪柳群落特征及其生态、生理适应性. *中国沙漠*, 2003, 23(4): 446 ~ 451.
- [20] 张道远, 尹林克, 潘伯荣, 怪柳属植物抗旱性能研究及其应用潜力评价. *中国沙漠*, 2003, 23(3): 252 ~ 256.
- [22] 宋郁东, 樊自立, 等主编. 中国塔里木河水资源与生态问题研究. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000. 216 ~ 217.
- [26] 何志斌, 赵文智. 黑河下游荒漠河岸林典型样带植被空间异质性. *冰川冻土*, 2003, 25(5): 591 ~ 596.
- [27] 徐海量, 宋郁东, 王强, 等. 塔里木河中下游地区不同地下水位对植被的影响. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 400 ~ 405.
- [29] 刘加珍, 陈亚宁, 新疆塔里木河下游植物群落逆向演替分析. *干旱区地理*, 2002, 25(3): 231 ~ 236.
- [30] 黄培佑. 干旱生态学. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 1993. 207 ~ 230.