

不同林龄胡杨径向生长量与地下水的关系

王 敏¹, 徐海量², 叶 茂³, 赵新风², 王希义¹

(1. 新疆农业大学, 乌鲁木齐 830052; 2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所

荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011; 3. 新疆师范大学, 乌鲁木齐 830017)

摘 要:胡杨是塔里木河河道周围重要的适生树种,对调节区域小气候具有重要的作用。径向生长是反映胡杨生长状况的重要指标,它与地下水位的关系是很多研究关注的焦点。以往的研究将所有林龄的胡杨作为一个整体来对它与地下水之间的响应关系进行研究,却忽略了胡杨由于林龄存在差异,它们对地下水位的响应可能不同。所以该文以塔里木河下游为研究区,选取了不同林龄胡杨的径向生长量作为研究对象,利用曲线回归的方法分别与地下水埋深建立函数关系,并借助灵敏度分析确定了其与地下水埋深响应的敏感点,以实现定量分析的目的。结果表明:(1) 胡杨中林和近熟林的径向生长量随地下水埋深下降呈减小特点;(2) 胡杨径向生长量受地下水埋深的影响,总体上为 4 次多项式,但不同林龄的胡杨遵循不同的拟合关系;通过灵敏度分析,胡杨林龄的差异导致其胁迫水位和停止生长的水位也不同。通过研究,证明了胡杨不同林龄与地下水的关系不同,因此在开展恢复时应采取不同的对策。

关键词:年轮水文学; 适宜水位; 灵敏度; 径向生长量; 地下水埋深; 中龄林; 近熟林

中图分类号:Q945; Q948.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)01-0357-04

Relationship Between Different Stand Age *Populus euphratica*'s Radial Growth and Groundwater

WANG Min¹, XU Hailiang², YE Mao³, ZHAO Xinfeng², WANG Xiyi¹

(1. Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography,
Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 3. Xinjiang Normal University, Urumqi 830017, China)

Abstract: *Populus euphratica* is a main adaptive tree species of the Tarim River Basin, and it plays an important role in regional micro-climate regulation. The radial increment is one of the most important indices reflecting the growth status of the *Populus euphratica*, and the relationship between groundwater level and radial growth is also the focus of the research. Previous studies on the response relation between *Populus euphratica* and groundwater put the all forest age as a whole, and ignored the differences of different age forests response to groundwater. In order to realize the purpose of quantitative analysis, we selected the Tarim River lower reaches as study area, and radial growth of the different forest ages as the research sample, established functional relationship between these parameters respectively, the sensitive points were obtained by the method of sensitivity analysis. The results showed that: (1) the radial growth of halfmature forest and near-mature stand presented decreasing trend with the decline of groundwater depth; (2) the radial growth of different stand age *Populus euphratica* response to groundwater was different, which had different response function, but followed 4 times function on the whole. Through sensitivity analysis it was found that the stand age difference led to stress water level and growth arrest water level were different, this study proved that the relationship between different stand ages of *Populus euphratica* and groundwater was different, therefore, the recovery countermeasure should be different.

Keywords: dendrohydrology; suitable water table; sensitivity; radial increment; groundwater depth; half-mature forest; near-mature stand forest

自 20 世纪 80 年代以来,许多专家学者开展了地下水与荒漠植被关系的研究^[1-4],尤其是在塔里木河流域这一荒漠干旱区内。地下水是植被生存生长的关键限制因子^[5],如何开展地下水与胡杨径向生长量关系的研究已经成为该区的一个热点。在胡杨与地下水关系方面,安红燕等^[6]认为,胡杨径向生长量与地下水位间存在显著的回归关系,且胡杨生长的胁迫水位是 4.71 m,临界水位是 8.62 m。本文认为不同林龄的胡杨根系不同,它们对地下水位的响应也应不同。针对这一假设,本文通过对不同林龄的胡杨径向生长量与地下水的关系展开研究,试图为今后在塔里木河流域开展大规模胡杨林恢复提供科学依据。

1 研究区概况

塔里木河下游是指尉犁县恰拉水文站到若羌台特玛湖的河段,主河道长约 428 km,位于塔克拉玛干沙漠与库鲁克沙漠之间,属暖温带荒漠极端干旱气候区,年均降水仅为 20~50 mm,年均蒸发量却高达 2 500~3 000 mm。河道两岸分布着以胡杨(*Populus euphratica*)为建群种的荒漠河岸林,河道长期断流导致下游胡杨严重退化、长势衰败,经过综合治理,下游的环境状况发生好转,胡杨长势恢复^[7-8],塔里木河下游胡杨的退化与恢复,为我们的研究提供了场所。

2 研究方法

2.1 林龄划分

胡杨在不同林龄具有不同的林木特征,其叶形分布、胸径生长及结实情况均不同。地域不同,不同生长发育阶段的树龄延续时间也不同;塔里木河下游胸径 4~10 cm 的胡杨属中龄林,胸径 10~30 cm 的胡杨属近熟林,胸径 30~50 cm 的胡杨为成熟林^[9-11]。根据研究区地域特点和胡杨在该区的生长特性,以及已积累年轮资料的年龄特点,本研究将胡杨划分为以下生长阶段(表 1)。

表 1 胡杨林龄概况

生长发育阶段	林龄/a	胸径/cm	平均树高/m
中龄林	20~30	4~10	14.4
近熟林	30~50	10~30	22.1

2.2 径向生长量资料监测

塔里木河下游的胡杨呈带状分布于河道两岸^[12],为使胡杨径向生长量能更好地反映与地下水之间的关系,样方设置在长期监测断面的地下水位监测井旁(胡杨生长较为集中);每个样方选取胸径 4~30 cm、长势相近的胡杨 3~6 株,利用“十字交叉法”在每株胡杨上采集 2 根样芯,共采集样芯 182 根

(2013 年采样),将钻取的样芯带回实验室经粘贴、编号、固定、打磨等预处理后,进行交叉定年^[13],利用树木年轮分析仪(LINTAB^{TM-6},精度 0.01 mm)读取径向生长量的值,借助图表法和 COFECHA 软件进行交叉定年的校准和数据订正。

2.3 地下水资料监测

塔里木河下游的长期监测断面按一定的垂直距离设置地下水位监测井,对地下水进行 24 h 监测,每 4 h 测量 1 次并将数据传回水文站,监测的瞬时精度为 0.01 m。本文采用的地下水资料由塔里木河流域管理局提供,为 2000—2013 年英苏、喀尔达依、阿拉干和依干不及麻 4 个长期监测断面的地下水埋深实测值。

2.4 数据处理

地下水资料选取胡杨生长季(5—9 月)时的地下水埋深平均值;径向生长量的值则为同一棵树 2 样芯经过校准后的均值。将地下水埋深以 1 m 划分梯度,利用 SPSS 软件对不同地下水埋深梯度条件下的径向生长量进行 0.05 水平的差异性显著分析;借助 Origin 8.0 等软件对胡杨中林和近熟林的径向生长量分别与地下水埋深建立函数关系,并对其拟合程度进行检验。

通过计算灵敏度指数 S_k 可以得到胡杨径向生长的变化速率,表现其在不同地下水埋深梯度条件下的变化规律,其公式^[14]为:

$$S_k = (dx/dy) \cdot (y/x) \tag{1}$$

式中: y 为地下水埋深; x 为径向生长量; S_k 值越大,径向生长量变化速率对地下水埋深的变化响应越敏感。

3 结果与分析

3.1 径向生长量与地下水关系

胡杨根系在土壤中呈现“两头小,中间大”的梭形,其根量及密度在水平方向及不同深度土层分布不同,且土壤中的含水率对根系分布具有一定的决定作用^[15-16],导致根系根量和密度发生变化,在不同深度土层与水分的接触面积不同,从而使得胡杨生长随地下水埋深变化表现出一定的差异性,为此,我们对不同地下水埋深条件下的径向生长量进行了差异显著性分析。

经分析可知,胡杨径向生长量与地下水埋深之间存在密切关系,当地下水埋深下降时,径向生长量整体呈现下降的趋势,且在 1~4 m,3~6 m 和 5~9 m 这 3 个地下水埋深区间内表现出明显的差异(图 1),在这些区间内可能存在径向生长量对地下水埋深响应的敏感点。但是,不同林龄胡杨径向生长量与地下水埋深间的关系如何,还需要更进一步分析。

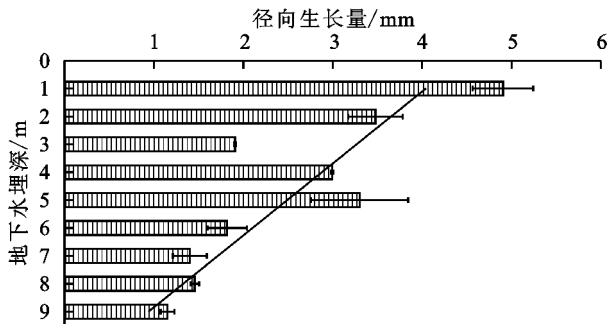
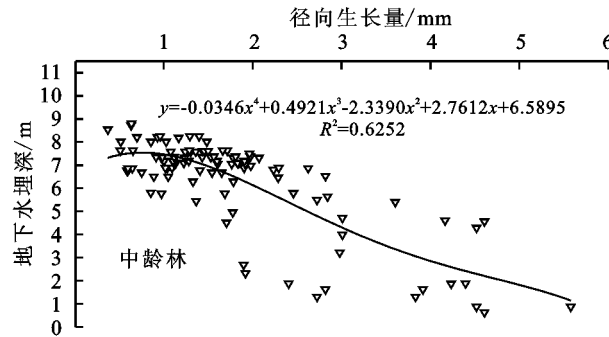


图 1 胡杨径向生长量随地下水埋深变化关系

3.2 不同林龄胡杨径向生长量与地下水关系

考虑到林龄对胡杨径向生长特点的影响,不同林龄胡杨的径向生长量对地下水的响应可能表现出不同,为反映二者间的关系,引用安红燕等^[6]和龚君君^[17]的方法对它们进行回归分析。地下水埋深与不同林龄胡杨径向生长量的关系见图 2。

不同林龄的胡杨与地下水的关系不同,中龄林和近熟林径向生长量与地下水位的的关系差异显著。但是它们也存在一致性,即均随地下水埋深下降呈递减趋势,且先出现较大幅度的减小后,减小的趋势趋于平缓。为此笔者分别构建二者的拟合函数为:



$$y = -0.0451x^4 + 0.5894x^3 - 2.3390x^2 + 2.8892x + 4.9322 \tag{2}$$
$$y = -0.0451x^4 + 0.5894x^3 - 2.3390x^2 + 2.8892x + 4.9322 \tag{3}$$

式中: y 为地下水埋深, x 为径向生长量。利用 F 检验对回归函数显著性进行检验,所得 F 值分别为 $F=40.44$ (中龄林)和 $F=57.13$ (近熟林),均通过 0.01 水平检验,达到极显著水平,胡杨中林和近熟林径向生长量与地下水埋深之间的回归效果很好,表明胡杨不同林龄的径向生长量对地下水的响应明显,为此可开展灵敏度分析。

3.3 不同林龄胡杨径向生长量对地下水位的敏感性分析

为准确反映不同林龄径向生长量随地下水埋深的变化速率,将地下水埋深按 1 m 划分梯度,结合胡杨径向生长量与地下水关系的回归模型(公式 2—3)和灵敏度公式(公式 1),得到不同林龄胡杨径向生长量的 S_k 特征曲线(图 3)。从图 3 中可以看出,随着地下水埋深的变化,胡杨径向生长量存在 2 个变化速率为 0 的点,说明存在 S_k 的极值,但不同林龄胡杨的 S_k 极值不相同,对地下水埋深的敏感点不同。

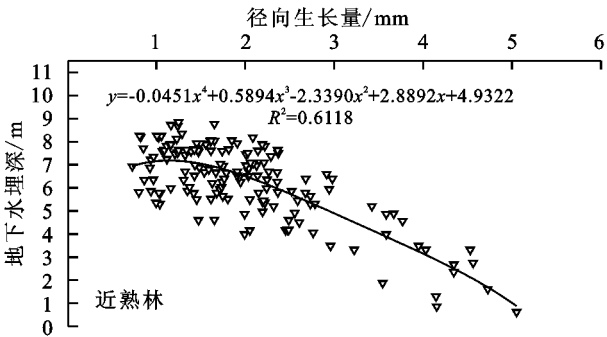


图 2 不同林龄胡杨径向生长量与地下水埋深关系

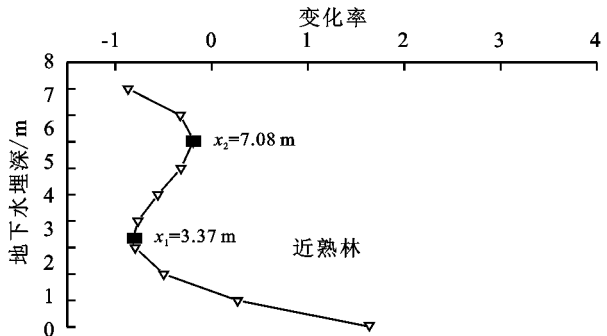
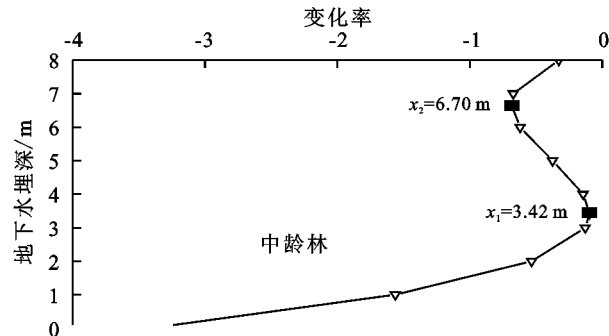


图 3 不同林龄胡杨径向生长量变化速率灵敏度曲线

胡杨中龄林径向生长量随地下水埋深变化,存在两个速率变化的拐点,分别为 3.42 m 和 6.70 m;在这 2 个拐点左右的变化速率与 S_k 曲线的值均发生变化,是径向生长量对地下水埋深响应的敏感点。当地下水埋深在 0~3.42 m 时,径向生长量的变化速率变化迅速,且其变化幅度(0~1 m)>(1~2 m)>(2~3 m),逐

渐减小;当地下水埋深在 3.42~6.70 m 时,变化速率的值逐渐减小,径向生长量的变化趋势变缓,地下水埋深为 6.70 m 时, S_k 值为 0;当地下水埋深大于 6.70 m 时,径向生长量的变化速率逐渐向 0 趋近。近熟林与中龄林的径向生长量变化速率规律相似,但二者的敏感水位不同,近熟林的敏感水位分别为 3.37 m 和 7.08 m。

4 讨论

通过胡杨径向生长量对地下水埋深的灵敏度分析,胡杨中龄林与近熟林的敏感水位存在差异,中林为 3.42 m 和 6.70 m,近熟林为 3.37 m 和 7.08 m,参考安红燕等^[6]的研究,我们分别称其为胁迫水位和极限水位,本研究所得胁迫水位和极限水位与前人^[18-20]相近,使本研究的结果得到了很好的印证;而中龄林和近熟林的敏感水位的差异也验证了本文之前的假设“不同林龄胡杨对地下水的响应不同”,考虑到近熟林的生长年限较长,结果也暗示了年龄越长的胡杨其根系也越深,相应地其胁迫水位和极限水位也越低。同时,研究结果也表明,在开展胡杨的保护时中龄林的地下水埋深不能低于 6.70 m,近熟林的地下水埋深不应低于 7.08 m,而在开展恢复时,中林和近熟林的适宜水位最好分别在 3 m 左右。

胡杨是中生至旱生深根系树种,当受到环境胁迫时,可以通过克隆繁殖来拓展其生长空间,利用其分株的定居和扩展来达到资源搜索的功能,从而使得在资源匮乏时通过资源共享和保持来维持基株生存^[21]。塔里木河下游长期断流,为了生存胡杨会形成一定的生存策略,如自动调节根系分布,根系消弱系数数值较大,根系分布较深,随土层加深死根的数量减少而根系表面积增加^[15],以适应恶劣的环境;由于林龄不同,胡杨的生长速生期侧重不同^[10],根系的发展存在差异,对水分条件的响应出现不同。

对不同林龄胡杨径向生长量对地下水埋深的响应进行研究,可以明确不同林龄胡杨对水分条件的不同需求,在对不同林龄胡杨进行保育和恢复时采取对应的给水措施;这一研究不但可以应用于本研究区,也可推广到相似环境条件的干旱区,对大规模的流域植被保护及恢复具有重要意义。

5 结论

(1) 胡杨径向生长量与地下水埋深之间存在密切的关系,随着地下水埋深的下降,径向生长量在每个埋深区间表现出不同的响应,且总体呈现下降的趋势。

(2) 不同林龄的胡杨与地下水的响应不同,且径向生长量与地下水之间存在显著关系。

(3) 通过胡杨径向生长量对地下水埋深的灵敏度分析,胡杨中龄林的胁迫水位和极限水位分别是 3.42 m 和 6.70 m,而近熟林为 3.37 m 和 7.08 m。

致谢:感谢张广朋和白玉锋在野外调查和采样工作中的帮助,感谢塔里木河流域管理局在水文数据方面的支持。

参考文献:

- [1] 金晓媚. 黑河下游额济纳绿洲荒漠植被与地下水位埋深的定量关系[J]. 地学前缘, 2010, 17(6): 181-186.
- [2] 朱军涛, 于静洁, 王平, 等. 额济纳荒漠绿洲植物群落的数量分类及其与地下水环境的关系分析[J]. 植物生态学报, 2011, 35(5): 480-489.
- [3] 李卫红, 周洪华, 杨晓明, 等. 干旱荒漠区草地植物群落地上生物量时空分布对地下水的响应[J]. 草业学报, 2010, 19(5): 186-195.
- [4] 曾晓玲, 刘彤, 张卫宾, 等. 古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(5): 1490-1501.
- [5] 杨尧军, 袁宏波, 刘淑娟, 等. 库姆塔格沙漠沙生怪柳种群与环境因子分析[J]. 干旱区研究, 2013, 30(5): 827-831.
- [6] 安红燕, 徐海量, 叶茂, 等. 塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系[J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2053-2059.
- [7] 湾疆辉, 陈亚宁, 李卫红, 等. 断流河道输水对地下水净补给量研究: 以塔里木河下游为例[J]. 中国沙漠, 2009, 29(2): 376-382.
- [8] 徐海量, 陈亚宁, 杨戈. 塔里木河下游生态输水对植被和地下水位的影响[J]. 环境科学, 2003, 24(4): 18-22.
- [9] 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.
- [10] 许友. 浅谈人工林生长发育阶段划分[J]. 民营科技, 2012(11): 136.
- [11] 余伟莅. 额济纳胡杨物候节律及生理生态特性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [12] 李香云, 张蓬涛, 章予舒. 塔里木河下游绿色走廊特点及衰败成因分析[J]. 干旱区研究, 2001, 18(4): 26-30.
- [13] 李江风, 袁玉江, 尤希尧, 等. 树木年轮学研究与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [14] 张宏. 极端干旱气候下盐化草甸植被净初级生产力对全球变化的响应[J]. 自然资源学报, 2001, 16(3): 216-220.
- [15] 李国迎. 塔里木河下游阿拉干断面胡杨根系空间分布规律研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2009.
- [16] 黄晶晶, 井家林, 曹德昌, 等. 不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型[J]. 生态学报, 2013, 33(14): 4331-4342.
- [17] 龚君君. 塔里木河下游胡杨径向生长量对生态输水响应研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2011.
- [18] 樊自立, 马英杰, 张宏, 等. 塔里木河流域生态地下水位及其合理深度确定[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 8-13.
- [19] 徐海量, 宋郁东, 陈亚宁. 生态输水后塔里木河下游合理水位探讨[J]. 水土保持通报, 2003, 23(5): 22-25.
- [20] 陈亚宁, 王强, 李卫红, 等. 植被生理生态学数据表征的合理地下水位研究: 以塔里木河下游生态恢复过程为例[J]. 科学通报, 2006, 51(S1): 7-13.
- [21] 王永斌, 努尔巴依·阿布都沙力克, Thevs N. 胡杨(*Populus euphratica* Oliv.) 根繁殖特征[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 1937-1941.