

不同胸径胡杨径向生长的合理生态水位研究

叶 茂^{1,3} 徐海量² 龚君君¹ 安红燕²

(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. 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要:借助树木年轮水文学的方法,分析不同胸径胡杨在不同地下水埋深条件下其径向生长量的变化特点和规律。研究结果表明:随着地下水埋深的增加,不同胸径胡杨径向生长量均呈现明显降低趋势,其对地下水埋深变化响应的灵敏度降低幅度呈现先增加,后减少的趋势。3个胸径等级的胡杨径向生长灵敏度最大值对应的地下水埋深为分别是3.3、7.4、7.9 m。说明不同生长阶段的胡杨径向生长量变化对地下水埋深变化响应的敏感性存在差异。可以认为这3个地下水埋深是不同胸径等级胡杨径向生长水分胁迫的合理生态水位。

关键词:塔里木河下游;胡杨年轮;胡杨径向生长量;地下水埋深;灵敏度;合理生态水位

中图分类号: Q142.9;P333.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2011)02-0172-06

树木年轮宽度作为反映气候与环境变化的一个重要参数,在过去气候环境研究中的重要性已被科学界广泛认可^[1~3]。树木年轮连续性强、分辨率高,并清晰地保留着自然干扰和人为干扰的痕迹,是可靠的年代及环境条件变化的信息源,因此,通过树轮宽度重建过去上百甚至几千年的气候变化是树木年轮水文学研究的主要手段和方法,并对揭示环境变化具有重要的生态意义^[4~7]。国内外众多学者研究表明,树木年轮宽度的增加与温度、降水、太阳辐射、CO₂浓度等气候因子有着复杂的相关关系^[8~12]。在干旱半干旱地区,温度和降水是限制树木生长的重要气候因子^[13],而地下水位也决定着树木的生长和发育^[14]。鉴于地下水位的稳定对胡杨的存活非常重要^[15],而且研究表明树枝生长可以作为反映地下水变化的敏感性指标^[16],本文利用树木年轮方法研究地下水位对胡杨径向生长量的影响具有一定的研究价值和学科意义。

在生态系统十分脆弱的塔里木河流域,胡杨林对控制沙漠的扩展,保护自然环境和人工绿洲农业生产有重要的生态作用^[17]。然而,随着人类活动干扰强度日益加剧,导致塔里木河流域地表水资源重新分配,使得下游水分补给不足,以胡杨林为主要建群种的荒漠河岸林大面积衰败和退化^[18~20]。由于水分条件是胡杨林生长的关键因子,胡杨生长

对地下水位有一定的要求,因此,许多学者并从不同角度研究胡杨林生长的适宜生态水位、胁迫地下水位或合理地下水位^[21~26],然而从树木年轮的角度研究胡杨林生长的合理生态水位较少。因此,本文借鉴树木年轮学的方法,利用塔里木河下游长期监测的地下水位数据,通过数理统计方法定量研究不同胸径胡杨径向生长的合理生态水位,为塔里木河下游大规模生态恢复工程和生态输水效益提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于塔里木河下游大西海子至台特玛湖间,是新疆乃至中国生态环境最为脆弱的地区之一。本区属暖温带荒漠干旱气候,这里降水稀少,多年平均降水量仅为20~50 mm;而年平均蒸发量(潜势)却高达2 500~3 000 mm,在干旱荒漠气候的控制下,该地区的地带性植被是温性灌木和半灌木,在河漫滩及两岸的低阶地发育着大面积非地带性的草甸植被,形成由胡杨(*Populus euphratica*)、灌木和草本植物组成的面积广阔的乔、灌、草带^[27]。近50 a来,由于人类不合理的水土资源开发,塔里木河下游出现严重的生态问题^[28]。尤其是自1972年大西海子水库修建以来,水库以下长期干涸,导致地下水位大幅下降,天然植被大面

收稿日期:2010-05-11;修订日期:2010-09-18

基金项目:国家自然科学基金项目(30600092;40971284)、新疆维吾尔自治区高校科研计划青年教师科研启动基金(XJEDU2008S41)资助。

作者简介:叶 茂(1977-),女,陕西绥德人,博士,副教授,主要从事干旱区水资源及恢复生态学研究。E-mail:yemao1111@163.com

积衰败和死亡,土地沙漠化日益加剧,沙尘天气日益频繁^[29,30]。

2 研究方法

2.1 样品采集和处理

在塔里木河下游选取胡杨集中生长的 4 个地区:英苏(C)、卡尔答依(E)、阿拉干(G)和依干不及麻(H)(图 1)。为使样本具有代表性,在每个地区沿河道垂直方向上,每个固定地下水监测井周围选取长势较好的不同胸径胡杨 6~10 棵进行取样。按照国际树木年轮库(ITRDB)的标准,共采 157 棵树。用生长锥在胡杨树干上两个垂直方向分别取 1 钻芯,共为 314 个样芯。取样时间为 2009 年 8 月。将样本编号带回实验室进行处理。

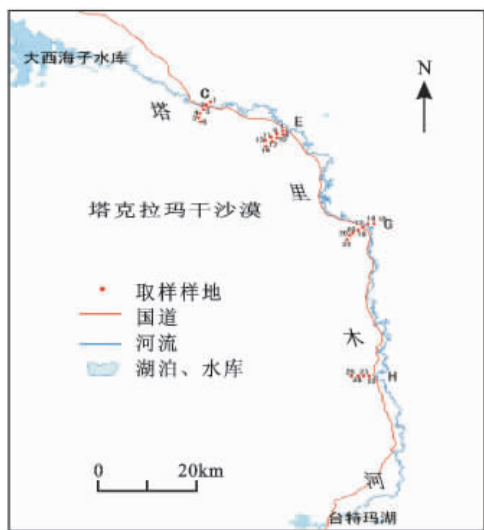


图 1 研究区取样点分布

Fig. 1 Map of sampling sites in study area

在实验室内,根据树木年轮样本处理的基本程序,对样本进行粘贴、固定、打磨等预处理,然后按照李江风等人定年的方法进行交叉定年^[3]。采用 LINTABTM6 型树木年轮测定仪(精度 0.001 mm,德国)进行宽度测量,用 COFECHA 交叉定年质量控制程序进行交叉定年检验和生长量的订正,确保交叉定年的准确性,并保证剔除测量过程中发生的随机误差。年表的建立是以计算机程序 ARSTAN 完成。

2.2 数据分析

根据胡杨生长的不同阶段,我们将调查 157 棵树的胸径按照三个等级进行分级:4~10、10~20 和

30~50 cm。胡杨胸径 4~10 cm 胡杨生长处于中龄阶段,处于树高生长高峰期。胸径范围在 10~20 cm 胡杨生长处于胸径生长高峰期,属于近熟林。胸径范围在 30~50 cm 胡杨属于成熟林。

地下水埋深数据是 2000~2006 年每年年均地下水观测资料。胡杨年径向生长量值是两个方向径向生长量的平均值。拟合的回归方程显著性检验采用 F(Fisher's)检验方法,回归方程的各系数显著性检验采用 t 检验。

为反映不同地下水埋深梯度下胡杨径向生长量的变化规律,采用灵敏度函数的计算胡杨径向生长变化速率,设 S_k 为灵敏度指数,计算灵敏度指数公式为^[31]:

$$S_k = (dy/dx) \cdot (x/y) \quad (1)$$

其中 x 是地下水埋深 y 是胡杨径向生长量。 S_k 值反映胡杨径向生长量对地下水埋深变化响应的敏感程度。 S_k 值越大,说明胡杨径向生长变化速率对地下水埋深变化响应越敏感,反之亦然。

3 结果与分析

3.1 不同胸径胡杨径向生长量随地下水埋深变化

随着地下水埋深的增加,胸径 4~10 cm 的胡杨径向生长量呈现明显递减趋势(图 2)。将不同地下水埋深与胡杨径向生长量进行回归分析,拟合的回归方程为:

$$y = -0.0135x^3 + 0.2882x^2 - 2.011x + 6.1356 \quad (2)$$

其中,样本数 $N=130$,相关系数 R^2 为 0.42,显著性 $P<0.01$, F 值为 30.68。拟合方程通过 0.01 水平检验,因此,多项式模拟的胡杨径向生长量与地下水位之间的回归关系效果很好。

随着地下水埋深的增加,胸径范围在 10~30 cm 的胡杨径向生长量也呈现明显下降趋势(图 3)。对地下水埋深和胡杨径向生长量拟合的方程为:

$$y = 0.008x^3 - 0.093x^2 - 0.264x + 5.276 \quad (3)$$

其中,样本数 $N=238$,相关系数 R^2 为 0.27,显著性 $P<0.01$, F 值为 28.84。拟合方程通过 0.01 水平检验,因此,多项式模拟的胡杨径向生长量与地下水位之间的回归关系效果很好。

图 4 显示,随着地下水埋深的增加,胸径范围在 30~50 cm 的胡杨径向生长量呈现缓慢下降趋

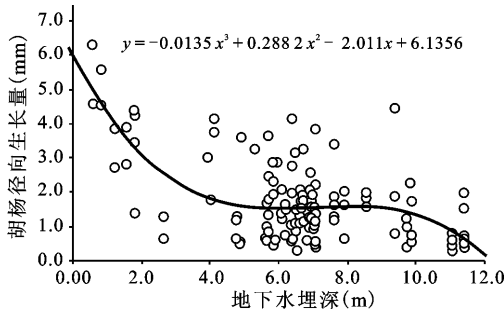


图2 不同地下水埋深条件下胡杨
(胸径4~10 cm)径向生长量变化

Fig. 2 Ring width of *Populus euphratica* (trunk diameter of 4~10 cm) in different groundwater depth

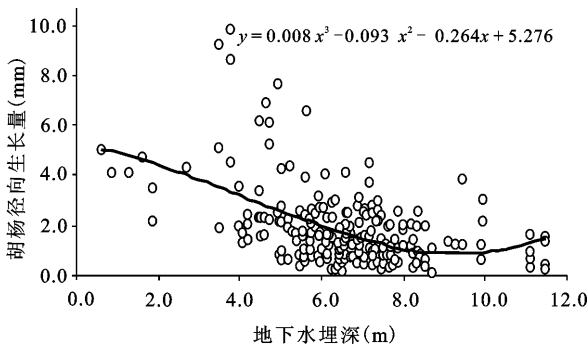


图3 不同地下水埋深条件下胡杨(胸径
10~30 cm)径向生长量变化

Fig. 3 Ring width of *Populus euphratica* (trunk diameter of 10~30 cm) in different groundwater depth

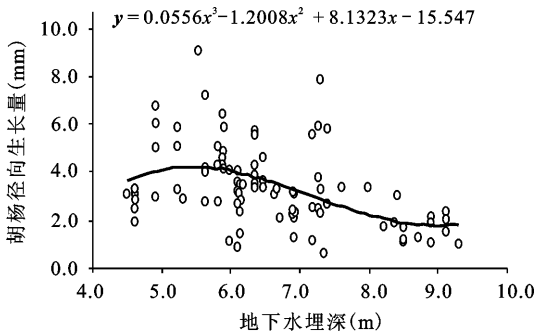


图4 不同地下水埋深条件下胡杨(胸径
30~50 cm)径向生长量变化

Fig. 4 Ring width of *Populus euphratica* (trunk diameter of 30~50 cm) in different groundwater depth

势。两者回归方程为：

$$y = 0.0556x^3 - 1.2008x^2 + 8.1323x - 15.547 \quad (4)$$

其中 样本数 $N=93$ 相关系数 R^2 为 0.24 ,显著性 $P<0.01$, F 值为 12.45。拟合方程通过 0.01 水平

检验 因此 ,多项式模拟的胡杨径向生长量与地下水位之间的回归关系效果很好。

3.2 不同胸径胡杨径向生长量灵敏度变化

为了准确反映胡杨径向生长量随地下埋深变化速率 将地下水埋深 0.1 m 作为划分的梯度 其范围从 0.5 ~ 11.5 m。利用不同胸径胡杨径向生长量与地下水埋深关系的拟合方程(2~4) 根据灵敏度计算公式(1) 可得到 S_k 的基本变化特征曲线 如图 5~7 所示。从图 5~7 的 S_k 变化曲线看 ,不同胸径的胡杨径向生长量随着地下水埋深的增加 灵敏度降低的幅度呈现先增加 后减少的趋势。其灵敏度指数曲线都存在斜率为 0 的点 说明不同胸径胡杨的 S_k 均存在最低值 但最低值存在差异。

胸径为 4~10 cm 胡杨径向生长量随着地下水埋深的增加 其降低的幅度也快速增加 而到地下水埋深在 3.3 m 时 其降低速率达到了最大值 ,为 : 84.3%。当地下水埋深大于 3.3 m 时 胡杨径向生长量降低幅度逐渐减少 说明地下水埋深大于 3.3 m 后 地下水埋深的变化对胡杨径向生长量的影响不大(图 5)。因此 我们认为 胸径在 4~10 cm 胡杨径向生长量变化最敏感的地下水埋深为 3.3 m。

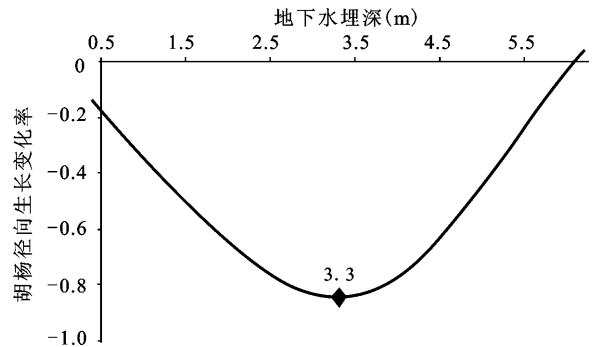


图5 不同地下水埋深条件下胡杨(胸径
4~10 cm)径向生长量变化灵敏度曲线

Fig. 5 Ring width's sensitivity curve of *Populus euphratica* (trunk diameter of 4~10 cm) in different groundwater depth

与幼林相比 胸径为 10~30 cm 胡杨径向生长量对地下水埋深变化的响应较为缓慢。随着地下水埋深的增加 其降低的幅度呈现先增加 后减少的趋势。当地下水埋深在 7.4 m 时 其降低速率达到最大值 ,为 : 210%。当地下水埋深大于 7.4 m 时 胡杨径向生长量降低幅度逐渐减少 说明地下水埋深大于 7.4 m 后 地下水埋深的变化对胡杨径向生长量的影响不大(图 6)。胸径在 10~30 cm

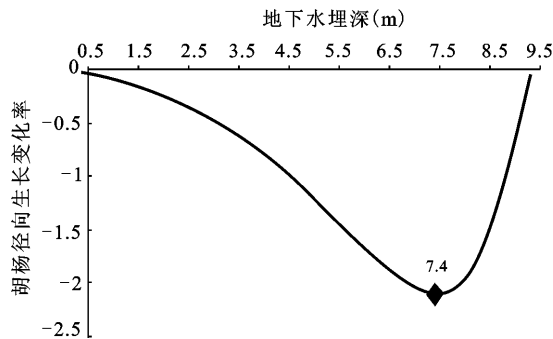


图6 不同地下水埋深条件下胡杨(胸径10~30 cm) 径向生长量变化灵敏度曲线

Fig. 6 Ring width's sensitivity curve of *Populus euphratica* (trunk diameter of 10-30 cm) in different groundwater depth

胡杨生长变化最敏感的地下水埋深为7.4 m。

图7是胸径为30~50 cm 胡杨径向生长量随地下水埋深增加变化率,其对地下水埋深变化的响应最为缓慢。当地下水埋深增加到7.9 m时,其降低速率达到最大值,为291%。当地下水埋深大于7.9 m时,胡杨径向生长量降低幅度逐渐减少,说明地下水埋深大于7.9 m后,地下水埋深的变化对胡杨径向生长量的影响不大。地下水埋深为7.9 m是胸径在30~50 cm 胡杨生长对地下水埋深变化响应最敏感。

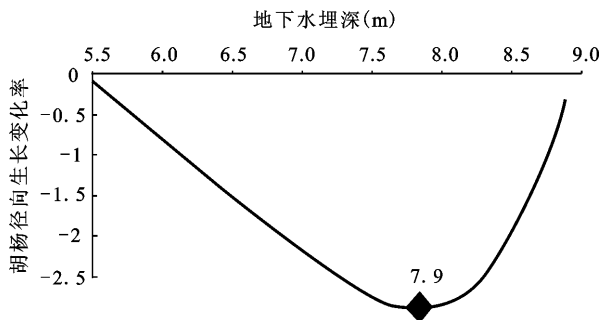


图7 不同地下水埋深条件下胡杨(胸径30~50 cm) 径向生长量变化灵敏度曲线

Fig. 7 Ring width's sensitivity curve of *Populus euphratica* (trunk diameter of 30-50 cm) in different groundwater depth

通过上述分析可知,地下水埋深不同,胡杨径向生长量对地下水埋深变化的响应程度也不同,地下水埋深越大,胡杨径向生长量对其变化的响应程度呈现先增大后减少的趋势。由此推得,在地下水埋深达到一定深度的区域,其上胡杨径向生长量对其变化的响应更为敏感,胡杨径向生长量减少程度越大,当地下水埋深超过一定深度时,胡杨径向生

长量变小,变化幅度降低,胡杨濒临水分胁迫,生长受到限制,呈现衰败或死亡的现象。但对于不同胸径的胡杨而言,其生长量对地下水埋深变化响应的灵敏度存在不同差异。因而,我们可以认为3.3、7.4和7.9 m这三个地下水埋深分别是胸径为4~10、10~30和30~50 cm的胡杨径向生长水分胁迫的合理生态水位。

4 初步结论

1) 随着地下水埋深的增加,不同胸径的胡杨径向生长量均呈现出明显的递减趋势。地下水埋深与不同胸径胡杨径向生长量拟合的回归方程则分别为: $y = -0.0135x^3 + 0.2882x^2 - 2.011x + 6.1356$ (胸径4~10 cm) $y = 0.008x^3 - 0.093x^2 - 0.264x + 5.276$ (胸径10~30 cm) $y = 0.0556x^3 - 1.2008x^2 + 8.1323x - 15.547$ (胸径30~50 cm)。

3个拟合方程均通过0.01水平检验,采用多项式拟合的胡杨径向生长量与地下水位之间的回归关系效果很好。

2) 不同胸径的胡杨径向生长量随着地下水埋深的增加,其灵敏度降低的幅度呈现先增加,后减少的趋势。

3) 不同胸径的胡杨径向生长的灵敏度指数曲线都存在斜率为0的点,说明不同胸径胡杨的 S_k 均存在最低值,但最低值存在差异。三个胸径等级的胡杨径向生长灵敏度最大值对应的地下水埋深为分别是3.3、7.4、7.9 m。说明,不同生长阶段的胡杨径向生长量对地下水埋深变化响应的敏感度存在差异。因此,我们认为这三个地下水埋深是不同胸径等级胡杨径向生长水分胁迫的合理生态水位。

参考文献:

- [1] Mann M E, Bradley R S, Hughes M K. Global - scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries [J]. *Nature*, 1998, **392**: 779 - 787.
- [2] 吴详定, 邵雪梅. 中国树木年轮气候学研究动态与展望 [J]. *地球科学进展*, 1993, **8**(6): 31 ~ 35.
- [3] 李江风, 袁玉江, 由希尧, 等. 树木年轮水文学研究与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1 ~ 8.
- [4] 王亚军, 陈发虎, 勾晓华. 利用树木年轮资料重建祁连山中段春季降水的变化 [J]. *地理科学*, 2001, **21**(4): 373 ~ 377.
- [5] 朱西德, 王振宇, 李林, 等. 树木年轮指示的柴达木东北缘近千年夏季气温变化 [J]. *地理科学*, 2007, **27**(2): 256 ~

- 260.
- [6] Fritts H C. Tree rings and climate [M]. London: Academic Press, 1976.
- [7] Brito - Castillo L, Díaz - Castro S, Salinas - Zavala, et al. Re-construction of long - term winter stream flow in the Gulf of California continental watershed [J]. Journal of Hydrology, 2003, **278**:39 - 50.
- [8] Bhattacharyy A, LaMarch V C, Telewski F W. Dendrochronological reconnaissance of the conifers of northwest Indian [J]. Tree - ring Bulletin, 1988, **48**:21 - 30.
- [9] Schweingruber F H. Tree rings: basics and applications of dendrochronology [M]. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 1988.
- [10] Graumlich L J. A 1000 - year record of temperature and precipitation in the Sierra Nevada [J]. Quaternary Research, 1993, **39**(2):249 - 255.
- [11] 康兴成, 程国栋, 康尔泗, 等. 利用树轮资料重建黑河千年来的出山口径流量 [J]. 中国科学 (D 辑), 2002, **32**(8):675 - 685.
- [12] 邵雪梅, 吴祥定. 利用树木年轮资料重建长白山过去气候变化 [J]. 第四纪研究, 1997, (1):76 - 85.
- [13] 王婷, 于 丹, 李江风, 等. 树木年轮宽度与气候变化关系研究进展 [J]. 植物生态学报, 2003, **27**(1):23 - 33.
- [14] 李江风, 袁玉江, 由希尧. 树轮水文学的研究及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [15] Gries D, Zeng F, Foetzki A. Growth and water relations of *Tamarix ramosissima* and *Populus euphratica* on Taklamakan desert dunes in relation to depth to a permanent water table [J]. Plant, cell and environment, 2003, **26**:725 - 736.
- [16] Willms J, Rood S B, Willms W, et al. Branch growth of riparian cottonwoods: a hydrologically sensitive dendrochronological tool [J]. Trees, 1998, **12**:15 - 223.
- [17] 季 方, 马英杰, 樊自立. 塔里木河冲积平原胡杨林的土壤水分状况研究 [J]. 植物生态学报, 2001, **25**(1):17 - 21.
- [18] 徐海量, 叶 茂, 宋郁东. 塔里木河源流区气候变化和年径流量关系初探 [J]. 地理科学, 2007, **27**(2):219 - 224.
- [19] 李红军, 江志红, 魏文寿. 近 40 年来塔里木河流域旱涝的气候变化 [J]. 地理科学, 2007, **27**(6):801 - 807.
- [20] 赵万羽, 陈亚宁. 塔里木河下游断流河道整治引发的生态问题与重建对策分析 [J]. 地理科学, 2008, **28**(4):496 - 500.
- [21] 黄培佑. 塔里木盆地胡杨林的生活周期对生境水分条件动态适应的研究 [J]. 新疆环境保护, 1991, **13**(2):5 - 10.
- [22] 黄培佑. 荒漠河岸胡杨林分布区的消退和林地更新复壮的初步研究 [J]. 植物生态与地植物学报, 1993, **10**(4):302 - 309.
- [23] 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.
- [24] 宋郁东. 中国塔里木河水资源与生态问题研究 [M]. 乌鲁木齐: 人民出版社, 2000.
- [25] 陈亚宁, 陈亚鹏, 李卫红, 等. 塔里木河下游胡杨脯氨酸累积对地下水位变化的响应 [J]. 科学通报, 2003, **48**(9):958 - 960.
- [26] 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.
- [27] 李香云, 张蓬涛, 章 予. 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 - 31.
- [28] 左其亭. 博斯腾湖向塔里木河生态输水效果及风险 [J]. 地理科学, 2006, **26**(5):564 - 568.
- [29] Feng Q, Endo K N, Cheng G D. Towards sustainable development of the environmentally degraded arid rivers of China - a case study from Tarim river [J]. Environment Geology, 2001, **41**:229 - 238.
- [30] 刘晏良. 塔里木河中下游实地勘察报告 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000.
- [31] 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.

Rational Ecological Groundwater Level of *Populus euphratica* with Different Diameter in Lower Reaches of Tarim River

YE Mao^{1,3}, XU Hai-liang², GONG Jun-Jun², AN Hong-yan²

(1. School of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography Research, Chinese Academic of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

3. Key Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi, Xinjiang 830054, China)

Abstract: Based on the methods of Dendrohydrology, this paper analyzed the sensitivity change and trend in the ring width growth of the *Populus euphratica* with different trunk diameter grades under different groundwater depths in the lower reaches of Tarim River. The results show that, with the increase of groundwater depth, the ring width of the *Populus euphratica* with different trunk diameter grades also has a decreasing trend. The regression equations of groundwater depth and the ring width of the *Populus euphratica* with different trunk diameter grades is: $y = -0.0135x^3 + 0.2882x^2 - 2.011x + 6.1356$ (trunk diameter of 4–10 cm); $y = 0.008x^3 - 0.093x^2 - 0.264x + 5.276$ (trunk diameter of 10–30 cm) and $y = 0.0556x^3 - 1.2008x^2 + 8.1323x - 5.547$ (trunk diameter of 30–50 cm). Those relationships are significant ($p < 0.01$). With the increase of groundwater depth, the S_k of the ring width change of the *Populus euphratica* decreases firstly and then increases. When the S_k with trunk diameters of 4–10 cm, 10–30 cm and 30–50 cm are up to maximum, the responding groundwater depth is 3.3 m, 7.4 m and 7.9 m, respectively. We can draw a conclusion that the three groundwater depths are regarded as rational groundwater with water stress of *Populus euphratica* with different trunk diameter.

Key words: lower reaches of Tarim River; ring width of *Populus euphratica*; growth of *Populus euphratica*; groundwater depth; sensitivity; rational ecological groundwater level