

田全彦,肖生春,彭小梅,等. 胡杨(*Populus euphratica*)与柽柳(*Tamarix ramosissima*)径向生长特征对比[J]. 中国沙漠,2015, 35(6):1512—1519. [Tian Quanyan,Xiao Shengchun,Peng Xiaomei,et al. Comparason of intra-annual stem radial growth characteristic between *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima*[J]. Journal of Desert Research,2015,35(6):1512—1519.], doi:10.7522/j.issn.1000-694X.2015.00007.

胡杨(*Populus euphratica*)与柽柳(*Tamarix ramosissima*)径向生长特征对比

田全彦,肖生春,彭小梅,肖洪浪

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000)

摘要: 基于对额济纳旗胡杨(*Populus euphratica*)和柽柳(*Tamarix ramosissima*)生长季树干的径向生长变化监测,以及气温、空气相对湿度和地下水位等环境因子的同步监测,利用突变检验和相关分析方法,对两树种日-季节尺度径向生长时间节点、阶段等特征及其环境因子响应模式进行了对比研究。结果显示:在两树种径向生长变化特征方面,日尺度上,胡杨每日径向生长最大值点出现和结束时间均比柽柳早 3 h 左右;季节尺度上,胡杨进入快速生长阶段的时间迟于柽柳,并且比柽柳结束要早,持续时间短于柽柳。在环境响应机制方面,胡杨日收缩极值($eMDV$)、日膨胀极值($iMDV$)和日净生长量(ΔR)阶段变化平均值为柽柳的 3 倍以上,变化幅度也相对较大;两树种上述径向生长参数与气温和地下水埋深等因子日-季节尺度的响应模式基本一致,快速生长期的地下水位变化影响更为显著,尤其对于柽柳。研究结果对于荒漠河岸林可持续发展及内陆河流域水资源管理具有重要意义。

关键词: 胡杨(*Populus euphratica*); 柽柳(*Tamarix ramosissima*); 日-季节尺度; 径向生长; 环境因子

文章编号: 1000-694X(2015)06-1512-08

doi: 10.7522/j.issn.1000-694X.2015.00007

中图分类号: Q948

文献标志码: A

1 引言

树木生长机制的研究是树木年轮学以及重建高分辨率环境演变历史的重要途径和基础^[1]。因此,有必要进一步研究树木生理机制及其对气候的响应机理。径向生长测量仪可在小时或更短的时间尺度上研究树干径向变化过程,对从生理生态学角度深入认识不同时间尺度上树木生长及其环境因子响应机制具有重要意义^[2]。

早在 1962 年,Fritts^[3]就用带状径向生长测量仪研究了树木生长的短期变化对于气象因子的响应关系。近年来,在不同区域和不同树种间,高精度的径向生长测量仪被用于研究树木径向生长及其与环境的关系。Downes 等^[4]利用点状径向生长测量仪研究了澳大利亚塔斯马尼亚岛东南的蓝桉(*Eucalyptus globulus*)和光亮桉(*E. nitens*)在土壤水分充足条件下树木生长与气候变化的关系,研究表明,树木生长与春季气温呈正相关,与夏季气温不相关或

负相关。Deslauriers 等^[5]使用带状径向生长测量仪对意大利阿尔卑斯山脉东部的挪威云杉(*Picea abies*)和欧洲落叶松(*Larix decidua*)进行了监测,研究了日平均值、日最大值和树干循环周期法 3 种不同数据分析方法,认为 3 种方法获取的树干径向变化序列之间的相关性很好,但是振幅有所区别,其中树干循环周期法对于提取长生理周期(大于 24 h)出现频率较高时的径向生长信息非常有效。

中国在树木生长机制研究方面起步较晚。管伟等^[6-7]使用带状径向生长测量仪,对宁夏六盘山华北落叶松(*Larix principisrupprechtii*)的研究发现,6—7 月为径向生长快速生长期,8 月下旬基本停止生长,其中日最高气温、空气相对湿度和土壤含水量等是影响树木径向生长的主要因子。肖生春等^[8-10]分别对黑河下游胡杨(*Populus euphratica*)、柽柳(*Tamarix ramosissima*)的典型日变化和季节变化特征及其环境响应进行了分析,研究表明,气温和地下水位埋深是影响胡杨、柽柳径向生长的

收稿日期:2014-10-21; 改回日期:2015-01-14

资助项目:国家自然科学基金面上项目(41471082,40971032)

作者简介:田全彦(1990—),男,山西长治人,硕士研究生,主要从事干旱区树木年轮学研究。Email: tianquanyan@126.com

通讯作者:肖生春(Email: xiaosc@lzb.ac.cn)

主要环境因素。李秧秧等^[11]研究了陕西省黄土丘陵区6年生油松(*Pinus tabulaeformis*)、山杨(*Populus davidiana*)和辽东栎(*Quercus wutaishanica*)及林下灌木胡颓子(*Elaeagnus pungens*)4个树种的树干径向变化,发现日大于0℃的积温、最低6 h相对湿度和日降雨量为影响该区林木生长的主要环境因子。王章勇等^[12-13]研究了祁连山不同海拔梯度上的圆柏(*Qilian juniper*),结果显示,以0℃的日平均气温对圆柏生长的影响为界限,可将其季节性生长分为两个阶段,春季气温是限制其生长季开始的主要因素;气温每升高1℃,生长季的开始平均提前7 d,从而量化了树木生长对气温的响应。因此,不同树种对环境因子的响应存在明显差异。

额济纳旗位于中国第二大内陆河——黑河的下游。1980—2000年,随着社会经济的快速发展,中上游工农业用水量增大,导致下游水环境恶化,黑河下游由常年性河流变为季节性河流,使河岸乔灌木大量枯死,生态环境退化。为解决该问题,在政府主导下,从2000年中下游开始实施流域分水计划,同时诸多学者基于胡杨、柽柳的树木年轮资料,开展了区域气候、水文(径流、地下水)等方面的树轮重建研究^[8-10]。本文基于对额济纳旗胡杨和柽柳的日-季尺度径向生长以及环境-气象同步监测,通过对比两个树种径向生长变化过程及其对微环境的响应特征,揭示两个树种的环境响应机制及其差异,为荒漠河岸林树木年轮学研究和优化管理提供理论依据。

2 研究区概况

试验区位于中国内蒙古自治区最西端的黑河下游额济纳胡杨林自然保护区,地理位置42°01'N、101°14'E,海拔958 m。该区属于极端干旱大陆性季风气候,根据额济纳旗气象站监测数据,1960—2011年平均气温8.9℃,1月平均气温-11.4℃,7月平均气温27.0℃,年平均降水34.9 mm,年均蒸发量3 706 mm。2011年该区全年降水32.6 mm,其中5—10月占总降水的97%以上(图1)。地下水埋深0.5~4.0 m(图2)。

样地主要乔灌木树种为胡杨和柽柳,还有少量沙枣(*Elaeagnus angustifolia*),林下为苦豆子(*Sophora alopecuroides*)等草本。胡杨平均株高10 m,平均胸径18.3±5.7 cm,密度约为500~1 000株·hm⁻²,林分郁闭度0.8,树龄25~30 a;柽柳平均冠

幅2 m×2 m,高1.5 m左右,灌丛密度为100~150丛·hm⁻²。

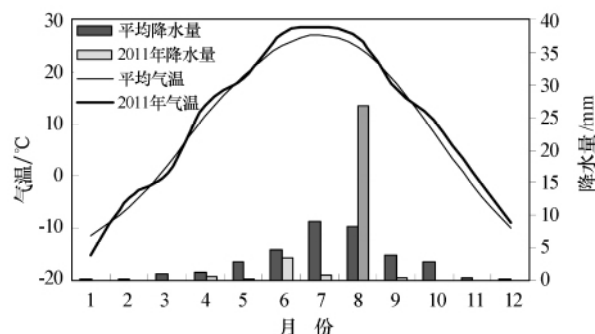


图1 研究区气候特征

Fig. 1 Climate characteristics for the studied area

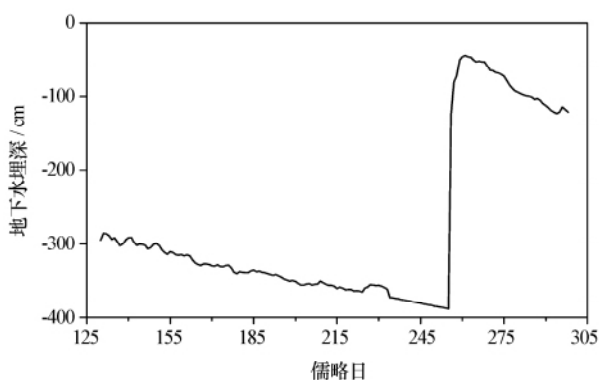


图2 研究区地下水埋深

Fig. 2 Groundwater level variation in the studied area

3 材料与方法

3.1 监测样株与仪器设置

2011年5月初,在样地选取胡杨(PS1、PS2;胸径分别为26.7、25.5 cm)和柽柳(TS1、TS2;地径分别为2.5、2.0 cm)各2株,在胡杨胸径高度(约1.3 m)和柽柳距地面20 cm处分别安装DR(半径型)和DD(直径型)的点状径向生长测量仪(Ecomatik,德国;精度±2 μm),用同一数据采集器同时监测4样株径向生长变化(R)。同时,在样地内布设自动气象站(ICT-22000型)和地下水位观测井(水位自动记录仪3001 LT, Solinst, 加拿大;井深4 m),用于实时同步监测气温(T)、降水(P)、空气相对湿度(RH)和地下水埋深(GD)等气象水文因子。径向生长测量仪和自动气象站的监测步长均设定为0.5 h,水位记录为2 h。

3.2 数据处理与统计分析

一般情况下,树木径向生长从早晨的最大值开

始下降,直至傍晚前后的最小值,而后又持续上升至翌日清晨,到达下一个最大值。通常将其分为 3 个阶段^[4]:收缩阶段(CP),从最大值下降到最小值的时段;膨胀恢复阶段(EP),从最小值到后一个最大值的时段;生长阶段(IP),从膨胀恢复阶段结束到下一个最大值的时段,该生长阶段内树木径向生长变化的增量即为日净生长量(ΔR)。根据 ΔR 值,可将径向生长日变化分为以下 3 种类型:①收缩后恢复超过起始值,称为增长型($\Delta R+$);②收缩后未能恢复到起始值,称为负增长型($\Delta R-$);③没有收缩阶段保持持续增长,称为持续增长型($\Delta R++$)。膨胀阶段最大值与最小值的差值定义为膨胀极值($iMDV$),收缩阶段最大值与最小值的差值定义为收缩极值($eMDV$)。 $iMDV$ 主要用于表征气候环境胁迫下的树体水分恢复能力, $eMDV$ 则表征气候环境胁迫下的树体失水状态。

依据两树种径向生长变化监测数据完整性,本文选取胡杨(PS1)和柽柳(TS1)各一样株进行对比分析。参照 Deslauriers 等^[5]的程序和方法对径向生长原始数据进行处理,生成新的日变化过程和日净生长量(ΔR)等序列,最后对日净生长量及其类型比例等参数进行计算和统计。由于两树种实际径向生长变化幅度差异较大,将累积径向生长量和日净生长量等序列根据累计生长量最大值转化为无量纲的比值,使两树种具有可比性。

在生长季,树木径向生长累积曲线一般呈“S”曲线,可将其分为 3 个阶段^[9-10]。运用 Regime Shift Detection V3.2 软件,以 5 d 为步长对累积径向生长日均值序列进行突变检验^[14],以首次出现的上升和下降突变点作为 3 阶段划分的参考日期。

利用 SPSS 软件对两树种生长季及其 3 个阶段径向生长变化(ΔR 、 $eMDV$ 和 $iMDV$)与相应日-季节尺度气象环境因子,如气温、相对湿度和地下水埋深等参数的最高、最低和平均值进行相关统计分析。

4 结果分析

4.1 径向生长变化特征

4.1.1 两树种径向生长日变化时间节点特征

监测数据表明(图 3),整个监测期,PS1 径向生长达到最大值的时间节点主要分布于每日 03:00—09:00,平均持续时长 4.2 ± 0.8 h;持续最小值时间节点在 15:00—20:00,平均持续时长 2.0 ± 0.6 h。TS1 最大值时间节点为 06:00—12:00,平均持续时

长 3.2 ± 1.2 h,最小值时间节点在 15:00—19:00,平均持续时长 2.0 ± 0.6 h。

总体上,胡杨每日径向生长最大值出现和结束时间均比柽柳早 3 h 左右,而最小值出现时间基本上一致。

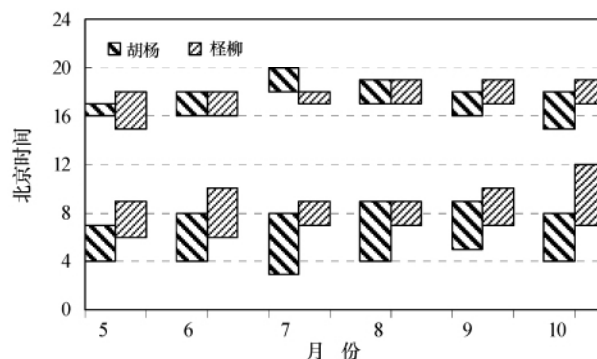


图 3 两树种日径向生长最值出现时间节点(上、下段分别表示最小值时间节点和最大值时间节点)

Fig. 3 The time of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima* reached the maximum and minimum value in daily stem radial growth during the growth season (The top and the bottom rectangles indicate the maximum and minimum values, respectively)

4.1.2 两树种生长季径向生长特征与累积日净生长量阶段差异

累积径向生长曲线的突变检验结果表明,PS1 的上升和下降突变点分别为 DOY145(5月25日)和 DOY223(8月11日),TS1 突变点分别为 DOY137(5月17日)和 DOY233(8月25日)。以两突变点为界,将整个监测期径向生长过程划分为 3 个阶段(图 4A、B):缓慢生长阶段(S1),树干以很小的速率生长;快速生长阶段(S2),树干快速持续增长,增长速率达到整个生长季最大;微弱生长阶段(S3),树干生长速率明显减小,甚至出现一定幅度的收缩。胡杨从 5 月下旬进入快速生长期,至 8 月上旬结束(DOY 146–222),计 76 d;而柽柳的快速生长期在 5 月中旬到 8 月中下旬(DOY 138–232),计 94 d。比较而言,胡杨的快速生长期比柽柳开始得较晚,结束得较早,总体上短 18 d。

在整个监测期(图 4C、D),快速生长阶段(S2)胡杨(PS1)和柽柳(TS1)的 $eMDV$ 和 $iMDV$ 均处于较高水平,分别为 $6.93 \pm 5.76\%$ 和 $7.62 \pm 5.39\%$, $1.71 \pm 1.04\%$ 和 $2.49 \pm 1.30\%$;而缓慢生长阶段(S1)和微弱生长阶段(S3)则相对较低(表 1)。相对而言,胡杨 $eMDV$ 和 $iMDV$ 变化比例值为柽柳的 3 倍以上,变化幅度也相对较大。

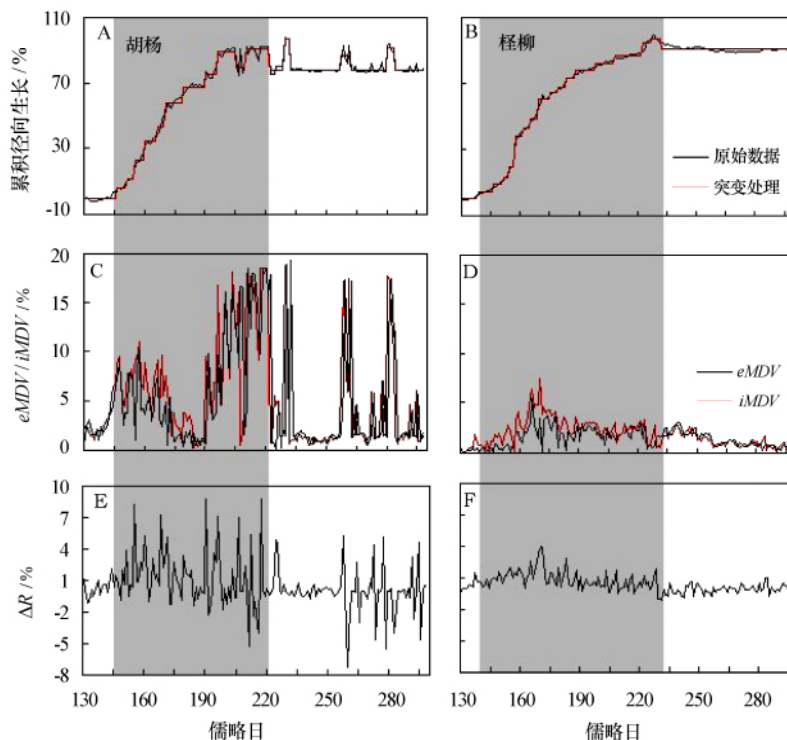


图 4 两树种径向生长季变化特征对比(暗色条带指示快速生长期(S2),左右两侧分别为缓慢生长阶段(S1)和微弱生长阶段(S3))

Fig. 4 Seasonal stem radial growth variations of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima* (The shadow parts represent rapid growth phase. The left and the right parts of shadow parts represent slow growth phase and weak growth pahse, respectively.)

表 1 两树种径向生长日变化参数特征

Table 1 Characters of daily stem radial growth variations of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima*

阶段	样本参数	PS1			TS1		
		eMDV	iMDV	ΔR	eMDV	iMDV	ΔR
S1	平均值/%	2.37	2.67	0.30	0.30	0.36	0.06
	标准误(±δ)	0.97	1.44	0.86	0.15	0.20	0.17
S2	平均值/%	6.93	7.62	1.13	1.71	2.49	0.80
	标准误(±δ)	5.76	5.39	2.71	1.04	1.30	0.95
S3	平均值/%	3.48	3.58	-0.04	1.30	1.24	-0.07
	标准误(±δ)	4.87	4.87	2.14	0.72	0.66	0.42
整个监测期	平均值/%	4.99	5.39	0.54	1.50	1.92	0.44
	标准误(±δ)	5.41	5.34	2.41	0.96	1.27	0.88

对 ΔR 统计表明,胡杨(PS1)和怪柳(TS1)在监测期变化均值较为一致,但胡杨的波动幅度相对较大。就上述 3 阶段而言,两样本 ΔR 在快速生长阶段(S2)也是最大的,而微弱生长阶段(S3)则均以负增长模式为主(图 4E、F,表 1)。

4.1.3 两树种日净生长量变化类型及累积日净生长量差异

对监测期日净生长量变化类型比例统计表明,胡杨和怪柳 $\Delta R + / + +$ 生长型在 5—7 月所占比例较高,6 月最高(83.3%和 100.0%);胡杨在 8 月 ΔR

+ / + + 型生长类型比例最低(41.9%),怪柳在 10 月最低(40.0%)。在缓慢生长阶段(S1)和快速生长阶段(S2),两树种的 $\Delta R + / + +$ 型生长类型百分比都在 65%以上,而微弱生长阶段(S3)相对较低,且怪柳低于胡杨(图 5)。

整个监测期,胡杨和怪柳的累积日净生长主要发生在 5—7 月,其中 6 月为生长最快的时期,分别占整个生长季的 54.9%和 56.3%。8—10 月径向生长明显减弱,甚至呈现负增长,其中胡杨在 8 月负增长显著。缓慢生长阶段(S1),胡杨和怪柳的累积

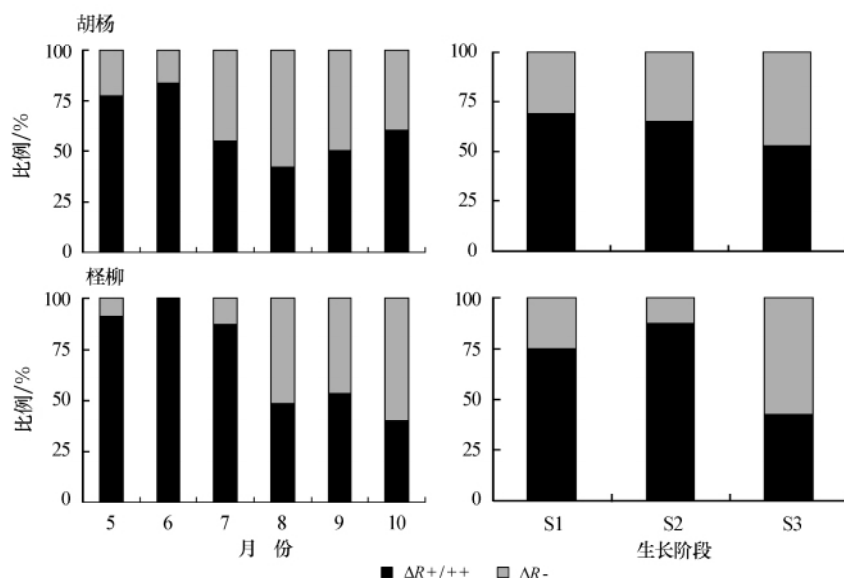


图 5 两树种生长季逐月及各生长阶段 $\Delta R+/++$ 和 $\Delta R-$ 生长类型

Fig. 5 Percentage distribution of the growth type of $\Delta R+/++$ and $\Delta R-$ in different months and growth phases of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima*

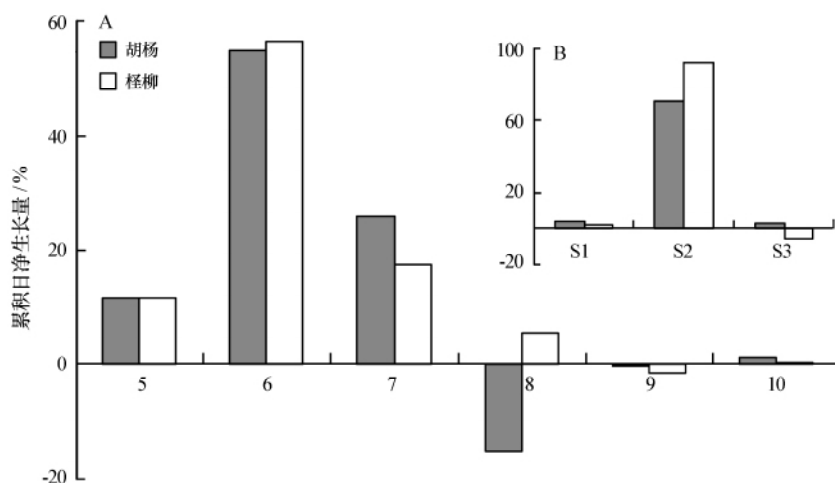


图 6 两树种生长季逐月(A)及各生长阶段(B)累积日净生长量

Fig. 6 Distribution of the cumulative daily stem radial increments in different months (A) and growth phases (B) of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima*

净生长量都很小,分别为 3.8%和 2.2%;快速生长阶段(S2),胡杨和怪柳的累积径向生长分别占生长季生长总量的 71.2%和 92.5%;微弱生长阶段(S3)怪柳出现微弱的负生长(图 6)。

4.2 径向生长变化的气象-环境因子响应差异

4.2.1 日尺度气象-环境因子响应

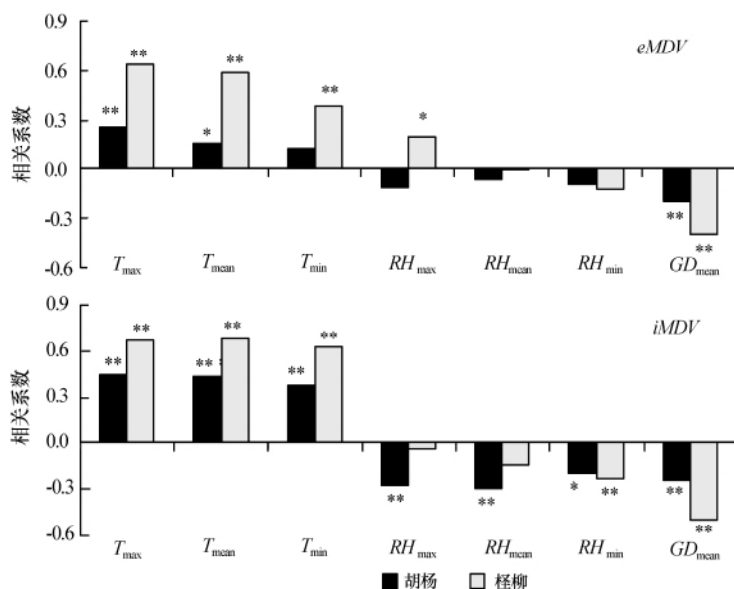
对 $eMDV$ 和 $iMDV$ 与各阶段环境因子的相关性分析结果显示(图 7):收缩阶段,胡杨与 T_{max} 、 GD_{mean} 呈极显著相关,怪柳与 T_{max} 、 T_{mean} 、 T_{min} 及 GD_{mean} 呈极显著相关。膨胀阶段,除最低相关湿度外,胡杨与所有环境因子均呈极显著相关;怪柳除 RH_{max} 、 RH_{mean} 外,与其他因子呈极显著相关。

比较而言,怪柳在两阶段均与气温和地下水位呈极显著正相关,而胡杨在收缩阶段只与 T_{max} 和地下水位呈极显著正相关;胡杨在两个阶段与相对湿度呈负相关,怪柳在两阶段与相对湿度的关系不一致。

上述结果表明,气温与平均地下水位是影响两树种径向生长日变化中收缩和膨胀过程的主要因素。

4.2.2 季节尺度气象-环境因子响应

树木 ΔR 反映径向生长变化中实际生长量与吸水恢复后的树体综合状况,在一定程度上能够说明树木的生长状况。与环境因子的相关分析结果显示(表 2),胡杨在整个监测期与各因子无明显相

图 7 生长季两树种 $eMDV$ 和 $iMDV$ 与气候因子的相关性(*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$)Fig. 7 Pearson correlation between the variables of $eMDV$ and $iMDV$ and meteorological parameters during the growing season of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima*表 2 生长季 ΔR 与气候因子的相关性Table 2 Pearson correlation between stem radius increment(ΔR)and meteorological parameters during the growing season

阶段	最高气温	平均气温	最低气温	最高湿度	平均湿度	最低湿度	地下水埋深
胡杨							
整个监测期	0.021	0.029	0.040	0.103	0.084	0.052	-0.031
S1	0.006	0.394	0.542*	0.317	0.412	0.429	-0.584*
S2	-0.095	-0.093	-0.041	0.128	0.091	0.086	0.238*
S3	0.007	0.001	0.023	0.218	0.193	0.081	-0.024
柽柳							
整个监测期	0.262**	0.355**	0.368**	-0.170*	-0.110	0.069	-0.229**
S1	0.540	0.636	0.669	0.267	0.487	0.658	-0.703
S2	-0.073	0.047	0.158	-0.031	0.031	0.135	0.296**
S3	-0.121	-0.154	-0.087	0.080	0.175	0.172	0.171

注: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$ 。

关性;柽柳整个生长季与 T_{max} 、 T_{mean} 、 T_{min} 、 RH_{max} 和 GD_{mean} 呈显著相关。在各生长阶段,胡杨只与缓慢生长阶段(S1)的 T_{min} 和 GD_{mean} 以及快速生长阶段(S2)的 GD_{mean} 呈显著相关;柽柳与快速生长阶段(S2)的 GD_{mean} 呈极显著相关。

上述结果表明,地下水位变化是影响胡杨和柽柳径向生长的主要共同因素,其次生长季气温也是影响柽柳径向生长的重要因素。

5 讨论与结论

5.1 径向生长阶段与水分生理过程

树木径向生长日变化是与树干液流活动紧密相关的,在不考虑生长的情况下,树木径向生长变化是由树木水分含量变化引起的^[15]。植物水势是植物水分状况的重要指标之一,它的高低表明植物从土

壤或相邻细胞中吸收水分以确保其进行正常生理活动的的能力^[16]。蒸腾作用使植物水势减小,增大了土壤-植物间的水势差,从而使土壤水进入植物形成液流。在一定程度上,蒸腾量越大,表征液流活动越强,蒸腾作用是产生液流的主要动力。张小由等^[17-19]在黑河下游研究发现,胡杨水势高于柽柳,且胡杨和柽柳在 6—8 月的蒸腾耗水量很大,分别占整个生长季的 57.2% 和 70.9%。6—8 月两树种较强的液流活动,是引起径向生长日变化波动较大的主要原因。因此,在快速生长阶段(S2),两树种的 $eMDV$ 和 $iMDV$ 均维持在较高水平。胡杨 $eMDV$ 和 $iMDV$ 较柽柳大,则表明胡杨的水分运移生理活动远高于柽柳,是高耗水物种。

缓慢生长阶段(S1)和微弱生长阶段(S3)的径向生长日变化与细胞分化、细胞壁加厚以及水分运移有关,但水分运移是产生径向生长日变化的主要

原因;快速生长阶段(S2)是树木生长最关键的阶段,主要与形成层向木质部和韧皮部进行大量细胞分化和树体水分状况有关,其中细胞分化这一不可逆过程对 ΔR 的形成起到主导作用。5—7 月包含于胡杨和柽柳的快速生长阶段(S2),引起 ΔR 的主要原因是细胞分化^[10]。因此,胡杨和柽柳的 ΔR +/++ 生长型在 5—7 月所占百分比比较高。

5.2 两树种径向生长的气象-环境响应差异与生态适应性

对荒漠河岸林水分来源以及根系分布研究表明^[20-21],胡杨的潜在水源为地下水和 40~60 cm 深度土壤水,而柽柳的潜在水源为地下水和 40~80 cm 深度土壤水,并且地下水对两树种的贡献率均在 90% 以上。胡杨主根分布在 35~70 cm 土层,而柽柳属于深根性植物,其主根可达 100~125 cm 土层。地下水位越深,树木根系吸水越困难,越无法满足蒸腾耗水,从而影响树木径向生长。本研究也表明,在两树种快速生长阶段(S2), ΔR 与地下水位呈显著正相关关系(表 2)。受河道分水影响,8 月末地下水位迅速大幅抬升,对生长后期和整个生长季统计结果产生一定程度的干扰。总体上,在快速生长阶段(S2),地下水位对两个树种的径向生长均具有显著的限制作用,但柽柳对于水源的利用范围优于胡杨。因此,柽柳更能适应干旱胁迫,其主要生长期即 S2 阶段较胡杨更长。同时,多项研究表明^[11-13],不同树种的主要生长期存在一定的差异性,可能与树种遗传特性、树龄和微环境等因素有关。

对胡杨和柽柳光合生理特征研究发现^[22-23],生长季两树种光合速率日变化过程中均存在单峰和双峰曲线(光合“午休”现象),由于叶片气孔关闭而出现“午休”的干旱适应性,使其在高温时段蒸腾作用减弱,从而降低水分需求。而对同一研究区域两个树种耗水量研究表明^[17-18],胡杨树干单位面积液流通量为 $0.34 \text{ L} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,柽柳为 $0.15 \text{ L} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$;整个生长季(5—10 月),胡杨总蒸腾量为 3 419.4 L,柽柳仅为 63.9 L,前者显著高于后者。付爱红等^[24]发现,柽柳的水分利用效率高于胡杨,柽柳的抗旱性强于胡杨。因此,在干旱胁迫(如高温)或供水条件不足(如地下水位较低)情况下,为满足较高蒸腾耗水需求,胡杨水势会高于柽柳,前者的水分利用效率会低于后者,高耗水的胡杨更容易受到供水条件限制。这与本研究中两树种径向生长日变化时间节点上的对比结果相一致。

上述两树种的生理生态响应方式决定了其不同水环境条件下群落发展演替的方向,即水环境条件较好时,群落中胡杨生长要优于柽柳;水环境条件恶化时,柽柳表现出更好的抗逆性,而胡杨生长则会受到严重胁迫,并逐渐衰败。从河流沿岸向外围戈壁的荒漠河岸植被空间分布格局,即胡杨、沙枣乔木林→红柳灌木林→苏枸杞、盐爪爪耐旱盐小灌木草本等,也体现了这一环境响应方式^[25];在时间上,随水环境恶化,荒漠河岸林常表现为以胡杨林迅速衰败和柽柳灌木丛相对稳定发展的群落演替过程。在水资源管理方面,保证一定量的水资源补给和春夏季适宜地下水位,是干旱区荒漠河岸林及绿洲可持续发展的基础。

5.3 结论

胡杨和柽柳两树种日—季节尺度径向生长特性及其气温和地下水位埋深等环境因子的响应既存在一致性,也有明显差异。上述特性决定了两树种作为荒漠河岸林主要乔灌木树种在环境变化情况下生态适应性及其演替过程,同时也为内陆河流域下游水资源管理及绿洲可持续发展提供理论依据。

参考文献:

- [1] Fritts H C. Regular cambial activity and xylem and phloem formation in locally heated and cooled stem portions of Norway spruce[J]. Wood Science and Technology, 1976, 41: 463—475.
- [2] Deslauriers A, Rossi S, Anfodillo T. Dendrometer and intra-annual tree growth: what kind of information can be inferred? [J]. Dendrochronologia, 2007, 25(2): 113—124.
- [3] Fritts H C. The relevance of dendrographic studies to tree-ring research[J]. Tree Ring Bulletin, 1962, 24(1/2): 9—11.
- [4] Downes G, Beadle C, Worledge D. Daily stem growth patterns in irrigated *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in relation to climate[J]. Trees, 1999, 14(2): 102—111.
- [5] Deslauriers A, Rossi S, Turcotte A, et al. A three-step procedure in SAS to analyze the time series from automatic dendrometers[J]. Dendrochronologia, 2011, 29: 151—161.
- [6] 管伟, 雄伟, 王彦辉, 等. 六盘山北侧华北落叶松树干直径生长变化及其对环境因子的响应[J]. 林业科学, 2007, 43: 1—6.
- [7] 雄伟, 王彦辉, 于澎涛, 等. 六盘山南坡华北落叶松树干直径生长及其对气象因子的响应[J]. 生态学报, 2007, 27: 432—441.
- [8] 肖生春, 肖洪浪, 司建华, 等. 胡杨径向生长日变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2010, 32(4): 816—823.
- [9] 肖生春, 肖洪浪, 彭小梅. 黑河下游胡杨季节尺度径向生长变化研究[J]. 冰川冻土, 2012, 34(3): 706—712.
- [10] Xiao S C, Xiao H L, Peng X M, et al. Intra-annual stem diameter growth of *Tamarix ramosissima* and association with

- hydroclimatic factors in the lower reaches of China's Heihe River[J]. Journal of Arid Land, 2014, 6(4): 498—510.
- [11] 李秧秧, 石辉, 张安邦, 等. 黄土丘陵区几种林木茎干径向生长的日变化及其对环境因素的响应[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 170—173.
- [12] Wang Z Y, Yang B, Deslauriers A, et al. Two phases of seasonal stem radius variations of *Sabina przewalskii* Kom. in northwestern China inferred from sub-diurnal shrinkage and expansion patterns[J]. Trees, 2012, 26(6): 1747—1757.
- [13] Wang Z Y, Yang B, Deslauriers A, et al. Intra-annual stem radial increment response of Qilian juniper to temperature and precipitation along an altitudinal gradient in northwestern China[J]. Trees, 2015, 29(1): 25—34.
- [14] Rodionov S N. A sequential algorithm for testing climate regime shifts [J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31: L09204.
- [15] Herzog K M, Hsler R, Thum R. Diurnal changes in the radius of a subalpine Norway spruce stem; their relation to the sap flow and their use to estimate transpiration[J]. Trees, 1995, 10(2): 94—101.
- [16] 曾凡江, 张希明, 李小明. 柽柳的水分生理特性研究进展[J]. 应用生态报, 2002, 13(5): 611—614.
- [17] 张小由, 龚家栋, 周茂先, 等. 应用热脉冲技术对胡杨和柽柳树干液流的研究[J]. 冰川冻土, 2003, 25(5): 585—590.
- [18] 司建华, 冯起, 张小由. 极端干旱区胡杨水势及影响因子研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(4): 505—510.
- [19] 宋耀选, 周茂先, 张小由等. 额济纳绿洲主要植物的水势与环境因子的关系[J]. 中国沙漠, 2005, 25(4): 496—499.
- [20] 赵良菊, 肖洪浪, 程国栋, 等. 黑河下游河岸林植物水分来源初步研究[J]. 地球学报, 2008, 29(6): 709—718.
- [21] 尹力, 赵良菊, 阮云峰, 等. 黑河下游典型生态系统水分补给源及优势植物水分来源研究[J]. 冰川冻土, 2012, 34(6): 1478—1486.
- [22] 邓雄, 李小明, 张希明, 等. 4种荒漠植物气体交换特征的研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(5): 605—612.
- [23] 常宗强, 冯起, 苏永红, 等. 额济纳绿洲胡杨的光合特征及其对光强和 CO₂ 浓度的响应[J]. 干旱区地理, 2006, 29(4): 496—502.
- [24] 付爱红, 陈亚宁, 李卫红. 中国黑河下游荒漠河岸林植物群落水分利用策略研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2014(4): 693—705.
- [25] 张武文, 马秀珍, 谭志刚. 额济纳平原植被分布与地下水关系的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14(5): 31—35.

Comparison of Intra-annual Stem Radial Growth Characteristic between *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima*

Tian Quanyan, Xiao Shengchun, Peng Xiaomei, Xiao Honglang

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Using the point-dendrometer, the stem radius variation of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima* were measured during the growing season, in Ejina Oasis, arid northwest China. The environmental factors, such as air temperature, relative air humidity and groundwater level, were monitored synchronously. Using the Regime Shift Detection, different growing phrases of the two species were detected. The relationship between the environmental factors and the diurnal stem radial variation was investigated through correlation analysis. The results showed that, the time of *P. euphratica* reached the start and the end of daily maximum value were 3 hours earlier than *T. ramosissima*. The time of *P. euphratica* entered the rapid growth phase was later than *T. ramosissima*, and the ending time was earlier. The mean value of eMDV, iMDV and ΔR of *P. euphratica* were 3 times larger than *T. ramosissima*, and the amplitudes of the three parameters were larger for *P. euphratica*. It is similar of the relationship between those three parameters of the two species and the environmental factors. A more significant correlation has been found between the groundwater level and the three parameters in rapid growth phase, especially for the *T. ramosissima*. The research results have significant implications for the sustainable development of desert riparian forests and the water resources management in the inland river basin.

Key words: *Populus euphratica*; *Tamarix ramosissima*; daily-seasonal scale; stem radial growth; environmental factors