

# 塔里木河下游生态输水后胡杨径向生长量的时空变化\*

安红燕<sup>1,2</sup> 徐海量<sup>1\*\*</sup> 叶茂<sup>3</sup> 禹朴家<sup>1,2</sup> 龚君君<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; <sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100049; <sup>3</sup> 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054)

**摘要** 以塔里木河下游胡杨为对象, 基于树木年轮水文学的方法, 分析了生态输水后胡杨枝条径向生长量的时空变化. 结果表明: 生态输水前后胡杨平均径向生长量差异极显著, 输水后, 胡杨径向生长量明显增加, 增幅达 125%; 生态输水期间, 随着输水量的增加, 胡杨径向生长量逐渐增加, 二者呈正相关关系 ( $R^2=0.394$ ), 可以将胡杨径向生长量作为输水效益的一个重要量化指标; 生态输水后, 离河道不同距离处的胡杨径向生长量差异极显著 ( $P=0.007$ ), 且随着与河道距离的增加, 胡杨径向生长量逐渐减小; 不同河段的胡杨径向生长量差异显著 ( $P=0.017$ ), 离水源地大西海子水库越近的河段, 胡杨径向生长量变化越大. 目前输水的影响范围有限, 不足以从根本上遏止本区生态环境的持续恶化.

**关键词** 生态输水 胡杨 径向生长量 时空变化 塔里木河下游

**文章编号** 1001-9332(2011)01-0029-06 **中图分类号** Q948.1 **文献标识码** A

**Spatiotemporal variation of *Populus euphratica*'s radial increment at lower reaches of Tarim River after ecological water transfer.** AN Hong-yan<sup>1,2</sup>, XU Hai-liang<sup>1</sup>, YE Mao<sup>3</sup>, YU Pu-jia<sup>1,2</sup>, GONG Jun-jun<sup>3</sup> (<sup>1</sup>*Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China*; <sup>2</sup>*Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; <sup>3</sup>*College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(1): 29–34.

**Abstract:** Taking the *Populus euphratica* at lower reaches of Tarim River as test object, and by the methods of tree dendrohydrology, this paper studied the spatiotemporal variation of *P. euphratica*'s branch radial increment after ecological water transfer. There was a significant difference in the mean radial increment before and after ecological water transfer. The radial increment after the ecological water transfer was increased by 125%, compared with that before the water transfer. During the period of ecological water transfer, the radial increment was increased with increasing water transfer quantity, and there was a positive correlation between the annual radial increment and the total water transfer quantity ( $R^2=0.394$ ), suggesting that the radial increment of *P. euphratica* could be taken as the performance indicator of ecological water transfer. After the ecological water transfer, the radial increment changed greatly with the distance to the River, *i. e.*, decreased significantly along with the increasing distance to the River ( $P=0.007$ ). The *P. euphratica*'s branch radial increment also differed with stream segment ( $P=0.017$ ), *i. e.*, the closer to the head-water point (Daxihaizi Reservoir), the greater the branch radial increment. It was considered that the limited effect of the current ecological water transfer could scarcely change the continually deteriorating situation of the lower reaches of Tarim River.

**Key words:** ecological water transfer; *Populus euphratica*; radial increment; spatiotemporal variation; lower reaches of Tarim River.

\* 国家自然科学基金项目(30970549, 40971284)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: xuhl@ms.xjb.ac.cn

2010-06-08 收稿, 2010-10-25 接受.

塔里木河流域地处欧亚大陆腹地,是我国典型的干旱荒漠区. 由于下游河道长期断流,造成该流域生态水文过程的丧失,导致下游出现严重的生态退化,天然植被大面积死亡,土地沙漠化进程加剧. 为此,中国政府于2000年组织实施了以生态恢复和环境保护为目标的生态输水工程<sup>[1]</sup>.

生态输水后,众多学者从地下水<sup>[1-3]</sup>和天然植被的长势、物种、数量<sup>[4-6]</sup>及生理生态<sup>[7]</sup>等方面对生态输水的效益进行了研究,结果表明,随着塔里木河下游水文过程完整性的逐步恢复<sup>[8-9]</sup>,下游沿河一定区域的地下水和天然植被均发生了明显的良性转变. 以往树木年轮水文学的研究主要集中在水文要素变化的响应和重建上<sup>[10-14]</sup>,虽有学者对树枝年轮进行了探讨<sup>[15-16]</sup>,但基于大型生态输水工程分析胡杨为代表的荒漠河岸植被的径向生长量对水资源变化响应的研究还较少. 胡杨(*Populus euphratica*)是塔里木河下游荒漠河岸林的主要建群种,其长势、生物量及其更新等均能反映以生态恢复和环境保护为根本目标的生态输水工程的输水效应. 研究表明,生态输水后,胡杨对生态输水存在积极的响应<sup>[17-20]</sup>. 本研究基于树木年轮学的基本方法,从数理统计的角度分析了离河不同距离和不同退化阶段的胡杨径向生长量对输水的响应,试图为今后量化输水效益研究提供理论依据和技术支撑.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

塔里木河流域是我国第一大内陆河流域,地处欧亚腹地,由发育于山区融雪河流组成源流和干流,自西向东绕塔克拉玛干沙漠北缘贯穿塔里木盆地. 该区域属暖温带大陆性荒漠干旱气候,干燥多风沙,年均气温 10.8℃,年均降水量 17~34 mm,年蒸发量高达 2408~2671 mm,是我国极端干旱地区之一. 塔里木河下游的主要建群植物为胡杨和怪柳(*Tamarix chinensis*)<sup>[21]</sup>. 由于水土资源的过度开发利用,导致塔里木河下游长期断流,地下水位下降,天然植被大面积退化,胡杨林由 20 世纪 50 年代的  $5.4\times 10^4$  hm<sup>2</sup> 减少到 90 年代的  $0.67\times 10^4$  hm<sup>2</sup><sup>[8]</sup>.

1.2 研究方法

研究选取生态系统处于不同退化阶段的 3 个典型断面:亚合甫马汗(B)——中度退化区、英苏(C)——重度退化区、喀尔达依(E)——极度退化区. 在沿河道垂直方向设置平行样线,在距离河岸

0~100 m、100~300 m、300~700 m、>700 m 4 个样带内随机地选取具有代表性的 3 棵胡杨. 由于长期断流,塔里木河下游胡杨的树干普遍空朽. 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<sup>[22]</sup>,故选取胡杨的一级样枝作为树木生长恢复和年轮分析研究的样本. 将采集的样枝基部截取 1~2 cm 厚的圆盘,进行打磨、抛光、样品编号等预处理;采用交叉定年法定年<sup>[23]</sup>,用 LINTAB 树木年轮分析仪器(分辨率 0.001 mm,德国)测量样枝轮宽.

所有数据均采用 SPSS 13.0 进行分析. 采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异( $\alpha=0.05$ ),用 Pearson 相关系数评价不同因子间的相关关系.

2 结果与分析

2.1 生态输水前后胡杨径向生长量的变化

生态输水后,胡杨径向生长量的均值发生了显著的变化(图 1),与输水前相比,输水后胡杨径向生长量的增幅达到 125%. 独立样本 *t* 检验的结果表明,输水前后胡杨径向生长量的差异均达到极显著水平. 这与孙卫等<sup>[24]</sup>的研究结果相一致,表明胡杨的径向生长可以反映生态输水的信息.

2.2 生态输水期间胡杨径向生长量的变化

生态输水期间,由于输水量不同,胡杨径向生长量的变化亦不同. 2000—2005 年间,与生态输水前相比,胡杨径向生长量的增长幅度分别为 26.5%、89.9%、145.8%、171.7%、135.3% 和 65.1%,总体呈先上升后下降的趋势(图 2). 自 2004 年开始,胡杨径向生长量逐渐变小,主要是由于该年的输水量比 2003 年减少了 83.7%;2005 年胡杨径向生长量持续减小,是由于胡杨生长依然受到 2004 年输水量突然减少的影响.

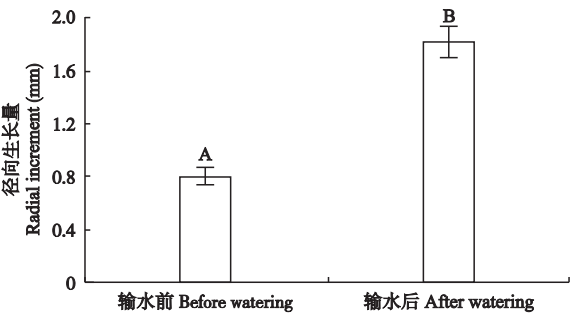


图 1 生态输水前后胡杨径向生长量的变化  
Fig. 1 Change of the *Populus euphratica*'s radial increment before and after ecological water transfer (mean±SE).

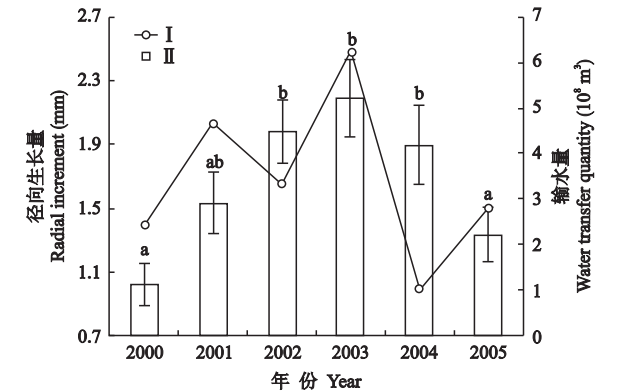


图2 生态输水期间胡杨径向生长量的变化

**Fig. 2** Change of the *Populus euphratica*'s radial increment during the ecological water transfer (mean±SE).

I：输水量 Water transfer quantity；II：胡杨径向生长量 *P. euphratica*'s radial increment.

由于胡杨径向生长量存在滞后效应,某一时点上胡杨径向生长量的增长并不能准确地反映径流量的变化,但在生态输水期间,胡杨径向生长量的变化能在一定程度上反映径流量(即输水量)的变化.随着输水量的增加,胡杨径向生长量逐渐增加,二者呈正相关关系,相关系数  $R^2=0.394$ . 方差分析结果表明,胡杨对生态输水做出了积极的响应,2000—2005年期间,不同年份的胡杨径向生长量差异极显著.其中,2003年胡杨径向生长量的增长幅度最大,达到179.5%,生态输水量达到  $6.25\times10^8\text{ m}^3$ ,约占总输水量的1/3.

2.3 离河道不同距离处胡杨径向生长量的变化

生态输水后,离河道不同距离处的胡杨均对生态输水产生了积极的响应.与生态输水前相比,生态输水后离河0~100 m、100~300 m、300~700 m和>700 m处,胡杨径向生长量的平均增长幅度分别为97.6%、180.2%、146.9%和63.3%.

方差分析结果表明,离河不同距离处的胡杨径向生长量差异极显著(表1).经多重比较,离河100 m内的胡杨径向生长量与离河100~300 m和>700 m范围内的胡杨径向生长量差异显著(图3).

表1 方差分析表

**Table 1 Analysis of variance**

	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
组间 Between groups	1.832	3	0.611	4.149	0.007
组内 Within groups	22.959	156	0.147		
总和 Total	24.791	159			

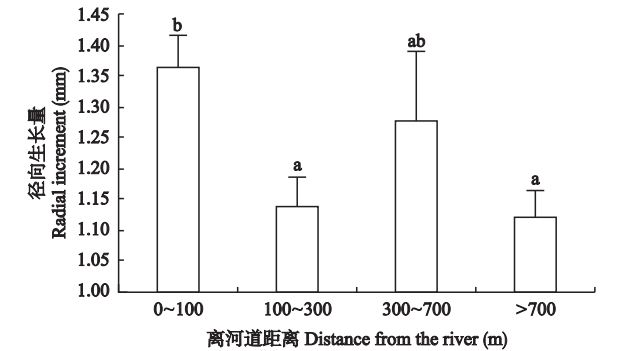


图3 离河道不同距离胡杨径向生长量的变化

**Fig. 3** Change of the *Populus euphratica*'s radial increment with different distance from the river (mean±SE).

由图3可以看出,随着与河道距离的增加,胡杨径向生长量总体呈逐渐减小的趋势,但离河100~300 m处的胡杨径向生长量小于300~700 m处的径向生长量.这主要是由于微地形导致取样地地下水位的差异,进而影响该区域胡杨的径向生长量.

生态输水期间,离河道距离在100 m范围内的胡杨对生态输水的响应程度一直保持在一个较高水平的范围内;距离河道>700 m处的胡杨对生态输水的响应最弱,主要是因为生态输水的方式是线状生态输水,随着离河道距离的增加,受渗透、蒸发和植被吸收等因素的影响,生态输水的效应逐渐减弱,树木年轮所反映的胡杨对生态输水的响应信息也逐渐减少.

2.4 不同河段胡杨径向生长量的变化

塔里木河下游断流时间长、土壤含水率低、土地沙化严重,越到下游地区,生态退化越严重.本研究选取的3个断面中,B断面的生态系统为中度退化,E断面的生态系统为重度退化,G断面的生态系统达到极度退化.生态输水后,处于不同衰退阶段的胡杨均对生态输水产生了响应,但不同衰退阶段的胡杨对生态输水的响应程度不一样,与生态输水前相比,生态输水后处于不同衰退阶段的生态系统如中度退化的B断面、重度退化的E断面和极度退化的G断面,胡杨径向生长量的平均增长幅度分别为111.9%、115.1%和141%.

为了分析处于不同退化阶段的胡杨对生态输水响应的差异,采用单因素方差分析法分析了不同断面的胡杨径向生长量的差异.方差分析表明,不同退化阶段的胡杨径向生长量差异显著(表2),多重比较表明,中度退化阶段和极度退化阶段的胡杨径向生长量差异显著(图4).

表 2 方差分析表  
Table 2 Analysis of variance

	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	<i>F</i>	<i>P</i>
组间 Between groups	1. 261	2	0. 631	4. 209	0. 017
组内 Within groups	23. 530	157	0. 150		
总和 Total	24. 791	159			

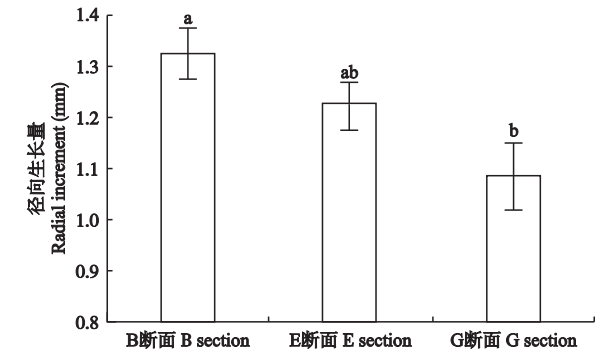


图 4 不同断面胡杨径向生长量  
Fig. 4 *Populus euphratica*'s radial increment in different sections (mean±SE).

表 3 不同部位胡杨径向生长量的关系  
Table 3 Relationship of *Populus euphratica*'s radial increment among different positions

部 位 Position	相关系数检验 Correlation coefficient test			配对样本 <i>t</i> 检验 Paired samples test			
	Pearson 相关系数 Pearson correlation coefficient	Pearson correlation coefficient	<i>P</i>	均值差 Mean differences	标准误 Standard error	<i>t</i> 检验 <i>t</i> test	<i>P</i>
顶部和中部 Top and mid	0. 856		0. 000	0. 150	0. 144	1. 037	0. 307
顶部和底部 Top and bottom	0. 390		0. 135	0. 071	0. 378	0. 188	0. 854
中部和底部 Mid and bottom	0. 516		0. 001	-1. 225	0. 136	-0. 641	0. 524

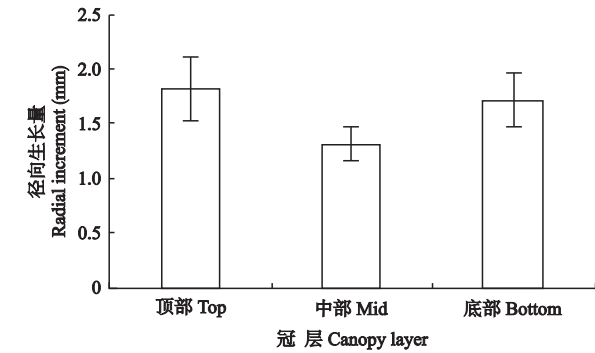


图 5 不同部位胡杨径向生长量的变化  
Fig. 5 Change of the *Populus euphratica*'s radial increment in different positions (mean±SE).

3 讨 论

3.1 塔里木河下游生态输水效益

生态输水后,塔里木河下游的地下水及地表植

生态输水期间,B断面和E断面、E断面和G断面的胡杨径向生长量差异不显著,而B断面和G断面的胡杨径向生长量差异显著,这是因为应急输水工程的主要方式是线状输水,第1次生态输水只到达阿布达勒,第2、3次生态输水到达阿拉干,直到第4次2002年7月的生态输水才到达塔里木河尾间台特玛湖,且G断面的生态系统已经处于极度退化阶段.

2.5 不同部位胡杨径向生长量的变化

利用统计学方法,计算胡杨不同部位(顶部、中部、底部)的 Pearson 相关系数.结果表明,胡杨顶部和中部,中部和底部的径向生长量均存在极显著的相关关系, $R^2$  为 0. 856 和 0. 516(表 1). 利用配对样本 *t* 检验方法检验胡杨顶部、中部、底部之间的差异显著性,结果显示,其顶部和中部、顶部和底部、中部和底部的径向生长量差异均不显著(表 3、图 5).

通过相关系数检验和配对样本 *t* 检验可知,胡杨顶部、中部和底部 3 个不同的部位对生态输水呈现出相同的响应模式,彼此之间没有显著差异.

被均发生了良性转变,当地居民的生活条件也得到了改善,生态输水工程取得了一定的生态效益和社会效益. 陈亚宁等<sup>[1-2,6]</sup>通过研究生态输水后地下水埋深和天然植被的组成、分布、长势及生理指标等的变化,分析了生态输水的效应,结果表明,地下水位和天然植被的物种、数量及生理指标等均呈现出对生态输水的积极响应. 郭英杰等<sup>[25]</sup>将塔里木河下游河段分 5 个断面考察了沿岸植被的生长发育、恢复状况、草本植物地表生物量,根系的分布与数量、植被的分布特点、土壤状况及地下水分布等,通过分析得知,断流河道应急输水对沿岸植被恢复作用显著. 徐海量等<sup>[26]</sup>采用问卷调查的方法,通过民意调查分析了生态输水工程的社会效益,结果表明,生态输水对当地居民生活和生态环境产生了很大的影响,塔里木河下游生态输水的社会效益显著.

地下水、天然植被群落的变化及问卷调查等均



可以衡量生态输水的效益,但无法量化生态输水的效益. 本研究结果显示,生态输水后,胡杨径向生长量明显增加,与输水前相比,其增幅达 125%,生态输水期间,随着输水量的增加,胡杨径向生长量逐渐增加,胡杨径向生长量与输水量呈正相关关系,生态输水后胡杨径向生长量的时空变化特征和地下水及天然植被群落对生态输水的响应特征相似. 因此,胡杨径向生长量可以作为生态输水效益价值量化的一个指标.

### 3.2 胡杨径向生长量的时空变化

随着塔里木河下游生态输水工程的实施,河道附近地下水逐级抬升,由于过水时间、区段耗水量、地层结构、土壤类型及植被退化状况等环境要素的差异,生态输水对不同河段的影响范围不同,总体表现为由上而下逐步递减的趋势<sup>[27]</sup>,即离水源地大西海子水库越远,生态输水的影响范围越小. 塔里木河下游河道两侧区域地下水位的总趋势是上升的,但离河道不同距离的地下水位上升幅度有所不同,离河道越近水位上升幅度越大,而离河道越远水位上升幅度越小<sup>[28]</sup>. 受输水时间及输水水量的影响,生态输水期间不同河段的地下水位抬升幅度不同. 在塔里木河下游地区,随着输水距离的增加,地下水位的抬升幅度明显下降<sup>[29]</sup>,即越到下游尾间,地下水位的抬升幅度越小. 由于天然植被的生长与地下水位的抬升密切相关,胡杨、柽柳等植物的各生理指标对地下水位变化响应也比较敏感<sup>[6]</sup>. 因此,生态输水后胡杨径向生长量也与地下水位呈现出相似的变化趋势,地下水位抬升幅度越小,胡杨径向生长量就越小. 具体表现为:随着与河道距离的增加,胡杨径向生长量逐渐减小;随着输水距离的增加,胡杨径向生长量亦逐渐减小.

研究结果显示,生态输水后,胡杨径向生长量发生了显著的变化,但离河不同距离处的胡杨及不同衰退阶段的胡杨对生态输水的响应程度差异显著. 这表明输水的影响范围有限,还不足以从根本上遏止本区生态环境的持续恶化. 为扩大输水的生态效应和加快受损生态系统的恢复重建,应继续实施塔里木河下游生态输水工程,在沿河道“线型”输水的基础上,分段实施河水漫溢的面上供水方案,并加强流域水资源管理、推广农业节水技术和加大河道整治力度等措施才能有效缓解整个流域生态环境恶化的趋势<sup>[1]</sup>.

### 参考文献

[1] Chen YN, Zhang XL, Zhu XM, *et al.* Analysis on the

ecological benefits of the stream water conveyance to the dried-up river of the lower reaches of Tarim River. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2004, **47**: 1053–1064

- [2] Xu H-L (徐海量), Ye M (叶 茂), Li J-M (李吉枚). Dynamics of groundwater and ecological response of natural plant after water conveyance at the lower reaches of Tarim River. *Progress in Natural Science* (自然科学进展), 2007, **17**(4): 460–470 (in Chinese)
- [3] Chen YN, Chen YP, Xu CC, *et al.* Effects of ecological water conveyance on groundwater dynamics and riparian vegetation in the lower reaches of Tarim River, China. *Hydrological Processes*, 2010, **24**: 170–177
- [4] Li W-H (李卫红), Chen Y-P (陈亚鹏), Zhang H-F (张宏峰), *et al.* Response of vegetation of water input at lower dry Tarim River. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 2004, **24**(3): 301–305 (in Chinese)
- [5] Yan Z-L (闫正龙), Huang Q (黄 强), Niu B-R (牛宝茹), *et al.* Effects of emergent water project on vegetation coverage in the lower reaches of Tarim River. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(3): 621–626 (in Chinese)
- [6] Yang G (杨 戈), Guo Y-P (郭永平). The change and prospect of vegetation after ecological water delivering in the end of the lower reaches of Tarim River. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 2004, **24**(2): 167–172 (in Chinese)
- [7] Chen Y-N (陈亚宁), Li W-H (李卫红), Chen Y-P (陈亚鹏), *et al.* Physiological response of natural plants to the change of groundwater level in the lower reaches of Tarim River, Xinjiang. *Progress in Natural Science* (自然科学进展), 2004, **14**(6): 665–671 (in Chinese)
- [8] Li W-H (李卫红), Hao X-M (郝兴明), Qin X-W (覃新闻), *et al.* Ecological processes of desert riparian forest communities and its hydrological mechanism of the inland river basin in arid areas. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 2008, **28**(6): 1113–1117 (in Chinese)
- [9] Wang F (汪 飞), Umut H (玉米提·哈力克), Conradie B, *et al.* Under crown height of *Populus euphratica* along the Arghan section in the lower reaches of Tarim River in response to the emergency water transportation. *Ecology and Environment* (生态环境学报), 2009, **18**(1): 286–291 (in Chinese)
- [10] Woodhouse C. Tree-ring reconstructions of circulation indices. *Climate Research*, 1997, **8**: 117–127
- [11] Shao X-M (邵雪梅), Wu X-D (吴祥定). Reconstruction of climate change on Changbai Mountain, Northeast China using tree-ring data. *Quaternary Sciences* (第四纪研究), 1997(1): 76–85 (in Chinese)
- [12] Viera P, Zuzana J, Jan M. Growth of the dominant woody plants of floodplain communities in the changing hydrological and climatic conditions. *Wood Research*, 2009, **54**: 23–35
- [13] Yuan Y-J (袁玉江), Ye W (叶 玮), Dong G-R (董光荣). Reconstruction and discussion of 314 a precipi-

- tation in Yili prefecture, Western Tianshan Mountains. *Journal of Glaciology and Geocryology* (冰川冻土), 2000, **22**(2): 121–127 (in Chinese)
- [14] Copenheaver CA, Hendrick LE, Houchins JW, *et al.* Changes in growth and dendroclimatic response of trees growing along an artificial lake. *American Midland Naturalist*, 2010, **163**: 134–145
- [15] Roberts S. The occurrence of non-ring producing branches in *Abies lasiocarpa*. *Trees*, 1994, **8**: 263–267
- [16] Mäkinen H. Effect of stand density on radial growth of branches of Scots pine in southern and central Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, **29**: 1216–1224
- [17] Li X (李霞), Hou P (侯平), Yang P-N (杨鹏年). Analysis on the respond of the tree-rings of *Populus euphratica* to the change of moisture conditions in the lower reaches of the Tarim River. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 2006, **23**(1): 26–31 (in Chinese)
- [18] Umut H (玉米提·哈力克), Chai Z (柴政), Luo S-Z (罗淑政), *et al.* Study on the height volume growth of *Populus euphratica* and spatial distribution in lower reaches of Tarim River. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2008, **22**(5): 187–191 (in Chinese)
- [19] Wang J-G (王建刚), Li X (李霞), Chen J-F (陈敬峰). Analyzing the growth volume of the *Populus euphratica* before and after the emergent transfusing water into the lower reaches of Tarim River—A case study along Ka'erdayi section. *Resources Science* (资源科学), 2007, **29**(3): 74–79 (in Chinese)
- [20] Chen Y-N (陈亚宁), Li W-H (李卫红), Chen Y-P (陈亚鹏), *et al.* Water conveyance in dried-up riverway and ecological restoration in the lower reaches of Tarim River, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(2): 538–545 (in Chinese)
- [21] Song Y-D (宋郁东), Fan Z-L (樊自立), Lei Z-D (雷志栋), *et al.* Research on Water Resources and Ecology of Tarim River, China. Urumqi: Xinjiang People's Press, 2000 (in Chinese)
- [22] Willms J, Rood S, Willms W, *et al.* Branch growth of riparian cottonwoods: A hydrologically sensitive dendro-chronological tool. *Trees*, 1998, **12**: 215–223
- [23] Ma L-M (马利民), Hu Z-G (胡振国). Cross-dating technology in dendrochronology in arid regines. *Journal of Xi'an Engineering University* (西安工程学院学报), 2002, **24**(3): 7–11 (in Chinese)
- [24] Sun W (孙卫), Hou P (侯平), Li X (李霞). Increment in branch diameter of *Populus euphratica* in response to emergent water transportation to downstream Tarim River, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **26**(9): 2913–2917 (in Chinese)
- [25] Guo Y-J (郭英杰), Xu Y-Q (许英勤), Ma Y-H (马彦华). Ecological benefits of the emergency stream water feeding to the lower reaches of Tarim River, Xinjiang. *Arid Land Geography* (干旱区地理), 2002, **25**(3): 237–240 (in Chinese)
- [26] Xu H-L (徐海量), Wang X-P (王小平), Ye M (叶茂), *et al.* The effect of eco-water transfer on the lower reaches of the Tarim River: Analysis based on the results of the poll investigation. *Geographical Research* (地理研究), 2007, **26**(2): 346–354 (in Chinese)
- [27] Xu H-L (徐海量), Chen Y-N (陈亚宁), Yang G (杨戈). Effect of translating water on vegetation at the lower reaches of Tarim River. *Environmental Science* (环境科学), 2003, **24**(4): 18–22 (in Chinese)
- [28] Alim T (阿里木·吐尔逊), Xu W-Y (徐卫亚). Study on the groundwater movement in the vicinities along the river channel of stream water transportation to the lower reaches of Tarim River, Xinjiang. *Arid Land Geography* (干旱区地理), 2003, **26**(2): 129–135 (in Chinese)
- [29] Xu H-L (徐海量), Song Y-D (宋郁东), Chen Y-N (陈亚宁). Dynamic change of groundwater after ecological water transport at the lower reaches of Tarim River. *China Environmental Science* (中国环境科学), 2003, **23**(3): 327–331 (in Chinese)

---

作者简介 安红燕,女,1985年生,硕士研究生.主要从事恢复生态学研究. E-mail: anhongyan99@163.com

责任编辑 李凤琴

---