

# 胡杨生理指标对塔里木河下游生态输水的响应

徐海量<sup>1,2</sup>, 宋郁东<sup>1</sup>, 王强<sup>2</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆乌鲁木齐 830011; 2. 新疆农业大学环境工程系, 新疆乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 根据塔里木河下游受生态输水影响的断面和未受输水影响断面的胡杨生理指标脯氨酸、脱落酸和叶片含水量的变化, 就胡杨生理指标对生态输水的响应进行了初步分析。结果显示: ①在受到生态输水影响的断面, 胡杨叶相对含水量增加, 脯氨酸、脱落酸因水分条件的好转而分解降低; 在未受到生态输水影响的断面, 因为干旱胁迫程度的加重, 胡杨叶相对含水量减少, 脯氨酸、脱落酸因积累而增加。②在生态输水前, 胡杨生理指标总体上与地下水位变化相一致, 即: 随着地下水位的降低, 胡杨脯氨酸和脱落酸水平增加; 随地下水位的升高, 脯氨酸和脱落酸水平有降低的趋势。③从个别数据的异常看, 在塔里木河下游, 当地下水位较低时, 地下水位的升降仅是影响胡杨干旱胁迫的一个因子。因此, 在塔里木河下游开展的生态输水工程, 对该区胡杨生长的影响非常显著, 它在一定程度上缓解了胡杨水分的亏缺, 减轻了干旱胁迫程度。

**关键词:** 胡杨; 生理指标; 干旱胁迫; 生态输水; 塔里木河下游

中图分类号: XI 71.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-6929(2003)04-0024-04

## Response of Physiological Indexes of *Populus euphratica* to Ecological Water Transport in the Lower Reaches of the Tarim River

XU Hai-liang<sup>1,2</sup>, SONG Yu-dong<sup>1</sup>, WANG Qiang<sup>2</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;

2. Institute of Environmental Engineering, Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** According to the variation of proline (Pro), abscisic acid (ABA) and water content of *Populus euphratica* Oliver leaf in two sections that has and has not been affected by ecological water transport respectively, the response of physiological indexes of *Populus euphratica* to ecological water transport in the lower reaches of the Tarim river is preliminarily discussed. The results are as follows: ① At the section affected by the ecological water transport, the Pro and ABA decompose and the relative water content of the leaf increases because *P. euphratica* can easily get water; at the section not affected by the ecological water transport, the Pro and ABA contents accumulate and the water content of the leaf decreases because the extent of drought stress subjected by *P. euphratica* reinforces; ② By and large, the change characteristic of such three physiological indexes is consistent with the groundwater level change before ecological water transport. In other words, the content of Pro and ABA accumulates when the groundwater level declines and decomposes when the groundwater level rises; ③ From the abnormality of some data, it is believed that the groundwater level is not the single factor affecting the extent of *P. euphratica* subjected to drought stress when it exceeds some depth. In a word, the effect of ecological water transport project on *P. euphratica* is very obvious in the lower reaches of the Tarim river, and it eases water deficit and drought stress to *P. euphratica* in certain extent.

**Key words:** *Populus euphratica* Oliver; physiological indexes; drought stress; ecological water transport; lower reaches of the Tarim river

于2000年5月开始的以生态建设和环境保护为根本的塔里木河下游生态输水工程, 缓解了该地区水资源极度匮乏的状况, 并由此带来下游生态环境向有利的方向转变<sup>[1-2]</sup>。引起这一变化的植物生理机制无

疑是塔里木河下游生态环境问题中的一个热点问题。目前国内外关于脯氨酸、脱落酸与植物抗旱性的研究较多<sup>[3-5]</sup>, 但是否能够运用这些指标来反映环境条件的变化却未见报道。笔者通过分析生态输水前后胡杨体内的脯氨酸、脱落酸和叶片含水量等生理指标的变化, 就生态输水对塔里木河下游植被的影响进行初步探讨。

### 1 研究区概况

塔里木河下游主要位于罗布泊微弱拗陷区, 构造

收稿日期: 2003-02-14

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043506); 中国科学院知识创新项目(KZCX1-08-03); 国家自然科学基金重点基金资助项目(90102007)

作者简介: 徐海量(1971-), 男, 江苏宝应人, 博士研究生。

稳定,第四纪沉积物厚约 350 m,沉积物以粘土质的河湖相沉积物为主;地形平坦,坡度为 3‰左右<sup>[6]</sup>;区内年平均降水量为 17.4~42.0 mm,而年蒸发量(潜势)平均值却达 2 500~3 000 mm,属大陆性暖温带、极端干旱沙漠性气候。在干旱荒漠气候的控制下,塔里木河流域的地带性植被属温性灌木和半灌木荒漠植被。但由于有河水和地下水补给,在河漫滩及两岸的低阶地发育着大面积非地带性的植被,形成由胡杨、灌丛和草本植被组成的宽广的乔灌草带<sup>[7]</sup>。但是,随着 1972

年塔里木河下游河道开始断流,以胡杨为代表的荒漠河岸林承受着极端严重的水分胁迫,表现出枯梢、枯枝、枯株明显增多,老龄个体占绝对多数,更新能力几乎丧失。为此,国家投资 107 个亿用于塔里木河流域的生态整治,并于 2000 年 7 月组织并实施了塔里木河下游应急生态输水工程。整个输水采用“线状”输水的方式打通塔里木河下游河道,以廊道状补偿水分,形成带状光、热、水、土资源的富集带,促进沿河残留植被的生命恢复<sup>[7]</sup>。输水线路及断面布设见图 1。

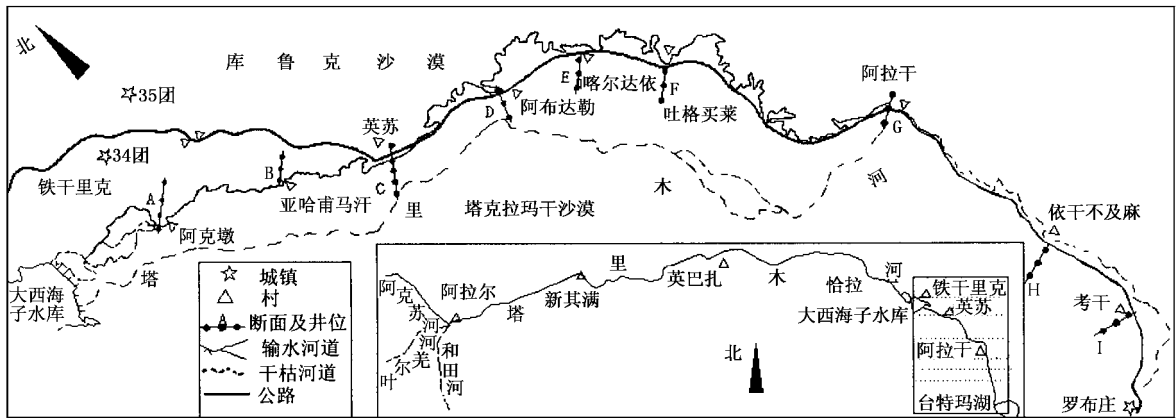


图 1 塔里木河下游输水河道及监测断面布设图

Fig.1 The translating water route and the monitoring section

## 2 研究材料及方法

### 2.1 采样时间的确定

为了掌握胡杨对生态输水后水分条件变化的响应,于 2 次输水的间隔(前 1 次输水于 2001 - 11 - 17 结束,该次(第 2 次)输水于 2002 - 07 - 20 开始)进行采样,分别在塔里木河下游亚哈甫马汗和依干不及麻 2 个典型断面于 2002 - 07 - 18 和 2002 - 09 - 01,对胡杨按与河床距离 100, 200, 300, 400 和 500 m 的间隔进行采样。结合地下水资料分析受输水影响和未受输水影响的胡杨生理指标的变化。

### 2.2 实验材料及处理方法

摘取胡杨树不同部位上生长正常的叶片作为分析样本,装入密封塑料袋里,然后立即放入简易冰柜里贮存,并送实验室分析。

胡杨叶相对含水量测定:将采集的胡杨新鲜叶称重,低温保存,回实验室经烘箱 60 ℃烘干,计算两者的水分差值占叶片重量的百分比。

脯氨酸(Pro)测定:参照朱光濂方法<sup>[8]</sup>,将 0.03 g 材料放入 20 mL 大试管中,加入 10 mL 无氨蒸馏水,封口后置沸水浴中 30 min,冷却后过滤,滤液 5 mL + 茚三酮 5 mL,沸水中显色 60 min,甲苯萃取。萃取液用日本

岛津 UV - 265 型紫外分光光度计在波长 515 nm 处比色。

脱落酸(ABA)测定:参照阮晓方法<sup>[9]</sup>,在实验室里取(0.1 ± 0.005)g 胡杨样品,液氮中研磨。500 μL 甲醇 4 ℃提取过夜。样品离心,上清液冷冻干燥。30 μL 10%的 CH<sub>3</sub>CN 溶解样品。样品溶液 10 μL 于 HPLC 分析,用外标法定量。以上实验由新疆农业大学王强等完成。

## 3 分析与讨论

根据以前的研究<sup>[2]</sup>,在塔里木河下游随着生态输水的实施,地下水位在河道垂直方向上呈现出水位抬升幅度随距输水河道距离的增加而逐渐下降的趋势;胡杨长势也随着地下水位的变化而发生改变,其原因在于生态输水是以线状输水为主,形成了以输水河道为中轴,向河道两侧地下水位的响应强度逐渐减少的趋势。但是,引起胡杨长势变化的原因需要从其生理指标的变化上反映(见表 1)。

表 1 是在亚哈甫马汗断面对胡杨叶采样分析的结果。由于受此前输水的影响,因此该次输水前地下水位基本是以河道为中心随距离的增加水位逐渐下降,而首次采样的结果恰好与地下水位的变化方向基本一

致。如:随距河道距离从 50 m 逐渐增加到 500 m,脱落酸(ABA)含量则依次为 1.29,3.59,6.62,11.35,15.47 和 16.29 ng/g(鲜重,下同);而脯氨酸(Pro)则是 16.49,24.85,33.45,34.45,35.62 和 28.74  $\mu\text{g/g}$ (鲜重,下同);其原因在于:脯氨酸(Pro)作为一种良好的渗透调节物质,在干旱胁迫下植物体内会迅速积累,通过渗透调节作用维持细胞一定的含水量和膨压势,以增强植物的抗旱能力和抗逆性<sup>[10-12]</sup>;而脱落酸(ABA)作为一种根

-冠间交流的逆境信号,在持续的干旱下将在植物体内形成一个稳定而缓慢增加的 ABA 水平,可使植物感知土壤水分状况变化并通过对气孔运动及叶片生长速率的调节有效地减少水分消耗<sup>[12-13]</sup>。这一结果说明,由于目前线状输水的方式决定了输水的影响是以河道为中轴的地下水位变化格局,因此,植被所承受的水胁迫程度也是符合这一规律的,由此带来生理指标的变化以适应环境的改变。其表现为随水分条件的变化,

表 1 生态输水对塔里木河下游胡杨生理指标的影响

Table 1 Effect of water transport on physiological indexes of *Populus euphratica* at the lower reaches of Tarim river

距河道 距离/m	地下水位/m		叶相对含水量/%		Pro( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )*			ABA( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )*		
	输水前 <sup>1)</sup>	输水中 <sup>2)</sup>	输水前	输水中	输水前	输水中	增减量	输水前	输水中	增减量
50	5.82	1.73	59.72	60	16.49	0.99	-15.5	1.29	1.18	-0.11
100	7.25	3.39	59.08	60.2	24.85	7.98	-16.87	3.59	2.14	-1.45
200	7.66	5.56	59.52	60.2	33.45	23.78	-9.67	6.62	4.67	-1.95
300	6.64	6.08	60.8	61.6	34.45	21.73	-12.72	11.35	5.29	-6.06
400	缺	缺	61.12	61.14	35.62	19.08	-16.54	15.47	7.63	-7.84
500	缺	缺	61.62	61.5	28.74	17.93	-10.81	16.29	11.54	-4.75

1) 采样时间为 2002-07-18;2) 采样时间为 2002-09-01; \* 为鲜胡杨叶重量,简称鲜重。

Pro 和 ABA 积累的水平也发生相应的变化。

而根据生理学理论,当干旱消失后,脯氨酸转化蛋白质合成的途径得以恢复,植物体内源激素的脱落酸也将分解<sup>[11-15]</sup>。因此,它们也将逐渐恢复到干旱前的水平。这一点在第 2 次采样结果中得到了验证。首次采样 2 d 后就实施了第 1 次生态输水,因此输水中地下水位的响应非常明显,从距河道 50~300 m 地下水位继续升高了 4.09,3.86,2.10 和 0.56 m。相应地,在 6 个采样点上的脯氨酸和脱落酸均较前有明显的减少,尤其是距河道最近的 Pro 和 ABA 分别降到 0.99  $\mu\text{g/g}$  和 1.18  $\text{ng/g}$  的低水平上,同时胡杨叶相对含水量也较前有不同程度的增加,说明输水后植物生存环境得到进一步好转,胡杨所承受的干旱胁迫程度也随之减弱。

但是,从 Pro 和 ABA 在胡杨中的含量和胡杨叶相

对含水量的变化看,并不是严格按照与河道的距离和地下水位而相关性变化的。除 ABA 在输水后仍然保持由小到大的顺序外,Pro 和叶含水量虽然总趋势还是与地下水位变化方向一致,但中间出现一些指标反映的更加突出,例如:在表 1 的 300 m 以外的 Pro 变化远比地下水位的升幅要明显。笔者认为这很可能与胡杨有非常发达的侧根有关,由于长期与环境相适应的结果,胡杨具有抗逆性和适应能力强特点,在一个区域水分条件不能得到补给时,其侧根可以延伸到几十米外寻求水分。因此,其长势的变化并不是简单取决于某个区域地下水位的变化上。而输水前胡杨林大面积严重衰败的景观也反证了整个塔里木河下游环境退化的程度。当然为了更充分说明这一问题,还有必要分析未受输水影响(2002 年 7 月输水)断面的胡杨生理指标变化(见表 2)。

表 2 未受输水影响的塔里木河下游胡杨生理指标的变化

Table 2 The change of physiological indexes of *Populus euphratica* before water transport at the lower reaches of Tarim river

距河道 距离/m	地下水位/m		叶相对含水量/%		Pro( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )*			ABA( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )*		
	输水前 <sup>1)</sup>	输水中 <sup>2)</sup>	输水前	输水中	输水前	输水中	增减量	输水前	输水中	增减量
100	7.18	6.88	59.24	59.24	4.35	5.45	+1.1	6.37	3.62	-2.75
200			59.72	59.56	6.72	7.17	+0.45	10.45	15.47	+5.02
300	7.18	7.24	59.24	59.48	5.77	13.26	+7.49	17.72	19.29	+1.57
400			59.86	59.56	5.67	1.37	-4.3	17.85	17.39	-0.46
500	7.92	7.93	59.74	59.68	7.63	6.27	+1.36	17.39	24.07	+6.68

1) 采样时间为 2002-07-18;2) 采样时间为 2002-09-01; \* 为鲜重。

表2是依干不及麻断面胡杨生理指标的变化,由于前一次输水早于2001-11-17就结束了,该次输水水流尚未到达。因此,虽然地下水位变化不明显,但是在极端干旱炎热的气候条件下,胡杨受到的干旱胁迫程度仍在加重,其表现同样反映在这2次采样结果的动态变化上。与表1结果相反的是,胡杨叶含水量均出现下降,而脯氨酸和脱落酸含量不是下降而是在总体上呈现出累积的特点。由于这2个断面采样时间、分析方法、测试人员等均一样,但生理指标在总体上所反映出干旱胁迫程度增加的变化特点与受到生态输水影响而出现干旱缓解所反映出的变化恰恰相反,说明造成胡杨生理指标变化的主要原因还是生态输水的结果。从胡杨脯氨酸和脱落酸含量变化对输水的响应看,其变化远较地下水位的变化要复杂,表现为:①胡杨生理指标的变化比地下水位的变化更加显著;②脯氨酸和脱落酸出现一些异常的变动等。这说明当地下水位较低时,除水位的升降影响胡杨所承受的干旱胁迫程度外,可能还有其他环境因子,如:土壤质地、土壤含水量、植株个体差异、地形地貌甚至地下水含盐量也影响胡杨对水分的吸收,从而反映在生理指标积累和分解快慢的变化上。同时,由于笔者所测试的是胡杨叶的脯氨酸、脱落酸变化,受到其生长周期和个体差异的影响,可能也会引起指标变化上的差异,这方面的原因还需深入研究。

#### 4 小结

a. 通过对胡杨在同一时间段内受到生态输水和未受到输水影响发生的生理指标的变化研究,可以清楚地说明,生态输水对该区主要建群植物——胡杨生长的影响是显著的。从胡杨叶相对含水量、脯氨酸、脱落酸这3个指标的变化上看,出现叶含水量减少和脯氨酸、脱落酸积累的增加是胡杨对水分亏缺的一种生理反应。其变化趋势与输水后地下水位的动态变化基本一致,即随着地下水位的降低,胡杨通过体内脯氨酸的积累,提高渗透调节能力,保持其原生质与环境的渗透平衡;同时,通过关闭气孔、减少蒸腾失水以防止水分散失,抵御水分胁迫,使胡杨在一定干旱环境下继续生存。而当水分条件得到好转时,这些积累的物质又会不断分解转化成其他形式,从而保证植物能更好地适应新的生存环境。同时从这2个指标的变化看,具

有明显的一致性,即脯氨酸和脱落酸在积累和分解上基本保持同步,说明胡杨在对水分亏缺上是采用多种生理反应来适应环境的变化的。

b. 生物与环境是相互影响、相互作用的,生物对环境条件的缓慢而微小的变化具有一定的调整适应能力,甚至能够逐渐适应于生活在极端环境中<sup>[17]</sup>;而环境条件的变化同样也可以通过生物体内一些微观指标的变化来指示。从塔里木河下游生态输水前后胡杨生理指标的变化上也深刻地揭示和验证了这一特点。

#### 参考文献:

- [1] 焦居仁,郅源临,徐传早,等.对塔里木河流域水保生态建设的几点浅识[J].中国水土保持,2001,(12):1-3.
- [2] 徐海量,陈亚宁,李卫红.塔里木河下游生态输水后地下水的响应研究[J].环境科学研究,2003,16(2):19-22.
- [3] Blum A, Ebercon A. Genotypic responses in sorghum to drought stress. Free proline accumulation and drought resistance[J]. Crop Sci, 1976, 16: 428-431.
- [4] 燕平梅,章良山.水分胁迫下脯氨酸的累积及其可能的意义[J].太原师范专科学校学报,2000,33(4):27-28.
- [5] 陈玉玲,曹敏.干旱条件下ABA与气孔导度和叶片生长的关系[J].植物生理学通讯,1999,35(5):389-403.
- [6] 刘培君,朱峰.塔里木河两岸的自然地理条件[A].梁匡一,等.塔里木河两岸资源与环境遥感研究[C].北京:科学技术文献出版社,1990.13-16.
- [7] 托曼.塔里木河中下游草地资源实地踏勘纪实[A].刘晏良,等.塔里木河中下游实地踏勘报告[C].北京:中国统计出版社,2000.112-113.
- [8] 朱广濂.植物体内游离脯氨酸的测定[J].植物生理学通讯,1983,11(4):1-7.
- [9] 阮晓,王强,周疆明,等.香梨果实成熟衰老过程中4种内源激素的变化[J].植物生理学报,2000,26(5):402-406.
- [10] 肖用森,王正直.渗透胁迫下稻苗脯氨酸积累与膜脂过氧化关系[J].武汉植物学研究,1996,14(4):334-340.
- [11] 罗音,孙明高.干旱胁迫对5树种叶片中脯氨酸含量的影响[J].山东林业科技,1999,22(4):1-4.
- [12] 刘娥娥,宗会,郭振飞,等.干旱、盐和低温胁迫对水稻幼苗脯氨酸含量的影响[J].热带亚热带植物学报,2000,8(3):235-238.
- [13] Singh T N, Aspinall F, Paley L G. Proline accumulation and variety adaptability to drought resistance[J]. Nature, 1972, 236:188-190.
- [14] 舒薇,郑丕尧,王经武.谷子品种对干旱生理适应性的研究[J].北京农业大学学报,1992,18(增刊):156-160.
- [15] 汤章城.高粱幼苗在水分胁迫下游离脯氨酸的累积及作用[J].植物生理学报,1989,15(1):105-110.