

输水堤坝对塔里木河中游胡杨群落及种群的影响

邓潮洲^{1,2}, 张希明^{1,*}, 吴俊侠^{1,2}, 朱军涛^{1,2}, 魏 疆³, 吕朝燕^{1,2}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100047;

3. 天山区经济和发展改革委员会, 乌鲁木齐 830002)

摘要:以分布于塔里木河中游输水护堤内侧和外侧各 3 个天然胡杨林样地为研究对象, 其中卡哈、沙子河、恰拉样地位于护堤内侧, 乌斯满、阿其河、铁依孜断面样地位于护堤外侧。采用样方调查法获取各断面胡杨群落特征、胡杨种群结构, 并利用胡杨侧枝生长量获取胡杨生长信息, 分析塔里木河中游输水护堤对胡杨群落及种群的影响, 为客观评价塔里木河中游输水护堤对胡杨的影响及加强胡杨林保护提供科学依据。结果表明: (1) 塔里木河中游各断面胡杨群落结构差异较大, 防护堤内侧胡杨群落物种数、多样性指数高于护堤外侧群落, 各断面共有种为胡杨、多枝怪柳、芦苇和甘草。(2) 护堤内侧胡杨种群 $DBH \leq 2.5$ cm 的幼树较多, 中老龄个体较少, 为增长型种群; 外侧胡杨种群更新能力弱, 缺乏幼龄个体, 但中老龄个体较多, 为衰退型种群。(3) 除恰拉断面外, 中游各断面胡杨侧枝生长量自 1998—2003 年呈上升趋势, 2004—2007 年呈下降趋势, 护堤内外侧胡杨生长量表现出明显差异。

关键词:胡杨; 群落; 种群; 输水护堤; 塔里木河中游

The influence of water conveyance embankments on the *Populus euphratica*'s communities and populations in the middle reaches of Tarim River

DENG Chaozhou^{1,2}, ZHANG Ximing^{1,*}, WU Junxia^{1,2}, ZHU Juntao^{1,2}, WEI Jiang³, LÜ Chaoyan^{1,2}

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, Urumqi 830011, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3 Economy and Development Reform Committee of TianShan District, Urumqi 830002, China

Abstract: The natural *Populus euphratica* forests situated on Kaha, Shazihe, Qiala sections that located in the inner side of water conveyance embankments and Wusiman, Aqihe, Tiejizi section that located on the outer side were studied in this research. On the basis of setting sample plots, the study analyzed the *Populus euphratica*'s communities and populations structures and the growth information which was from the branches increment of *Populus euphratica*. Then we analyzed the influence of water conveyance embankments on the *Populus euphratica*'s communities and populations. So it will provide some scientific references for evaluating the influence of water conveyance embankments on the *Populus euphratica* objectively and protecting the *Populus euphratica* forests. The research results showed that: (1) there is great difference about the structures of *Populus euphratica* communities in the different section of middle reaches of Tarim River. The plant species and species diversity indices of *Populus euphratica* communities in the inner side of water conveyance embankments were higher than the outer side. And the species to have altogether in six sections were *Populus euphratica*, *Tamarix ralnossissima*, *Phragmites australis* and *Glycyrrhiza uralensis*. (2) The *Populus euphratica* populations in the inner side of water conveyance embankments had more saplings that were the DBH less than 2.5 centimeter and less on the middle and old individuals, which belonged to growth-oriented population, when the populations on the outer side lacked saplings and had more middle and old age individuals, which belonged to declining type population. (3) Except for the Qiala section, the branch diameter increment of *Populus euphratica* in the middle reaches increased from 1998 to 2003, and it declined

基金项目:中国科学院院士重大咨询资助项目

收稿日期:2009-01-15; **修订日期:**2009-04-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhxm@ms.xjb.ac.cn

from 2004 to 2007. The analysis of the growth of *Populus euphratica* showed that there was significant difference between the inner and outer side of water conveyance embankments.

Key Words: *Populus euphratica*; communities; populations; water conveyance embankments; the middle reaches of Tarim River

胡杨(*Populus euphratica*)是杨柳科杨属中最古老、最原始的本木植物,具有较强忍耐大气、土壤干旱及盐碱能力,是荒漠区天然林主要建群树种;一般形成单优群落,在荒漠区发挥着重要生态作用^[1]。在我国主要集中于西北地区的新疆、内蒙古自治区西部、甘肃内陆河流沿岸冲积平原,其中 90% 的胡杨林分布在新疆塔里木盆地,在塔里木河中游地区有较大面积胡杨林分布^[2]。自 20 世纪 60 年代以来,随着塔里木河上、中游土地资源急剧开发利用,大量胡杨林被砍伐破坏,中、下游来水量逐年下降,导致中、下游地区地下水位不断下降,植被退化严重,在绿色屏障外围形成林退沙进的局面对当地生态安全构成较大威胁^[3]。为了拯救下游日益退化的胡杨林,自 2000 年起国家实施了塔里木河综合治理工程,通过一系列水利工程在塔里木河上、中游开源节流,向下游地区河道进行人工输水^[4]。中游水利工程主要为河岸两侧修建的防护堤,并通过防护堤生态闸来控制流向堤外水量,以达到开源节流的目。随着输水工程的实施,塔里木河胡杨受到较多关注,特别是下游胡杨对输水后生理响应^[5-6]及生长响应^[7-8]开展了较多研究。但对于胡杨群落及种群研究开展较少,研究地点主要以上游为主^[9-10],中游开展的相关研究多以天然植被为主^[11-14]。陈永金等^[15]指出,中游防护堤的修建造成中游物种丰富度持续下降,但未有防护堤对胡杨群落及种群影响的相关论述,针对中游不同区段进行胡杨群落与种群比较研究也未见报道。本研究 6 个研究断面中,恰拉、卡哈、沙子河断面分布在堤坝内侧,乌斯满、阿其河、铁依孜断面分布在堤坝外侧。通过对防护堤内外胡杨群落和种群结构及生长状况的调查,分析堤坝对中游胡杨的影响,同时比较中游不同区段胡杨群落与种群结构的共性与差异性,进一步充实塔里木河中游胡杨群落的基础资料,为客观评价塔里木河中游输水护堤对胡杨的影响及保护胡杨林提供科学依据。

1 研究区概况

塔里木河中游段指轮台县英巴扎至尉犁县恰拉,全长 398 km,河道两侧各有一道防护堤,堤宽 1—3 km。该区年均气温 10.5℃;年均日照数,轮台县为 2778 h,尉犁县为 2970 h; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温轮台县为 4039℃,尉犁县为 4184℃;无霜期,轮台县为 211 d,尉犁县为 214 d^[16]。植物区系包括中亚、古地中海和少量泛热带成分,形成了灌丛、灌草丛、草甸、荒漠等植被类型。植物种类以杨柳科、柽柳科、豆科、夹竹桃科、禾本科、菊科等为主,构成了乔木、灌木和草本植物群落^[17]。该区乔木主要有胡杨(*Populus euphratica*),灌木主要有多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)等,草本植物主要有芦苇(*Phragmites australis*)、罗布麻(*Apocynum venetum*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查方法

于 2007 年 9 月在塔河中游卡哈(A)、沙子河(B)、乌斯满(C)、阿其河(D)、铁依孜(E)和恰拉(F)设立研究断面,其中 A、B、F 断面样地设在护堤内侧,C、D、E 断面样地设在护堤外侧。每个样地内沿垂直河道方向采用等距选样法每隔 100 m 设立 20 m × 20 m 的样方进行乔木调查;每个断面设 8 个调查样方,共 64 个样方。每个样方内沿对角线各设置 2 个 5 m × 5 m 和 2 m × 2 m 的灌木和草本调查样方。调查内容包括:乔木样方对 DBH > 2.5 cm 胡杨进行每木检尺,记录每棵胡杨的基径、胸径、树高、盖度、冠幅与群落总盖度;DBH ≤ 2.5 cm 的幼树则记录其高度、盖度和株数。灌木和草本样方记录各物种的高度、盖度、株数及物候期。

2.2 优势种群径级、高度及冠幅划分

本研究参照于大炮等^[18]的方法,用大小级替代年龄级,分析胡杨种群结构。胸径(DBH)分级如下:

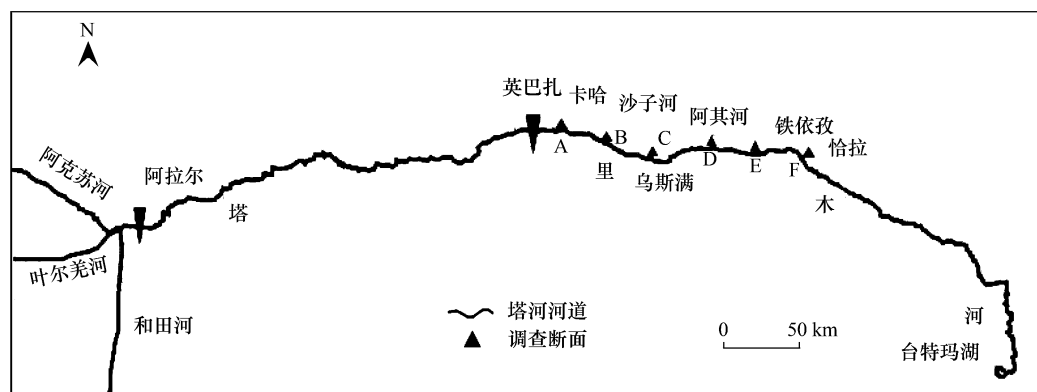


图1 塔里木河中游调查地点示意图

Fig. 1 The investigation sections in the middle reaches of Tarim River

I、 $DBH \leq 2.5$ cm; II、 $2.5 \text{ cm} < DBH \leq 7.5$ cm; III、 $7.5 \text{ cm} < DBH \leq 12.5$ cm; IV、 $12.5 \text{ cm} < DBH \leq 17.5$ cm; V、 $17.5 \text{ cm} < DBH \leq 22.5$ cm; VI、 $22.5 \text{ cm} < DBH \leq 27.5$ cm; VII、 $27.5 \text{ cm} < DBH \leq 32.5$ cm; VIII、 $32.5 \text{ cm} < DBH \leq 37.5$ cm; IX、 $37.5 \text{ cm} < DBH \leq 42.5$ cm; X、 $42.5 \text{ cm} < DBH \leq 47.5$ cm; XI、 $47.5 \text{ cm} < DBH$ 。

胡杨树高和冠幅参照于倩等^[19]的方法进行划分,树高(H):以2.5m作为级差将树高划分为9个等级:

I、 $H < 2.5$ m; II、 $2.5 \text{ m} \leq H < 5$ m; III、 $5 \text{ m} \leq H < 7.5$ m; IV、 $7.5 \text{ m} \leq H < 10$ m; V、 $10 \text{ m} \leq H < 12.5$ m; VI、 $12.5 \text{ m} \leq H < 15$ m; VII、 $15 \text{ m} \leq H < 17.5$ m; VIII、 $17.5 \text{ m} \leq H < 20$ m; IX、 $H \geq 20$ m。

胡杨冠幅采用树冠长和宽乘积表示,以 5 m^2 作为级差将冠幅(G)划分为8个等级:

I、 $G < 5 \text{ m}^2$; II、 $5 \text{ m}^2 \leq G < 10 \text{ m}^2$; III、 $10 \text{ m}^2 \leq G < 15 \text{ m}^2$; IV、 $15 \text{ m}^2 \leq G < 20 \text{ m}^2$; V、 $20 \text{ m}^2 \leq G < 25 \text{ m}^2$; VI、 $25 \text{ m}^2 \leq G < 30 \text{ m}^2$; VII、 $30 \text{ m}^2 \leq G < 35 \text{ m}^2$; VIII、 $G \geq 35 \text{ m}^2$ 。对不同断面胡杨种群树高、胸径、冠幅进行统计,绘制种群结构图。

2.3 数据处理

物种重要值 重要值 = (相对高度 + 相对密度 + 相对盖度)/3

多样性测度采用如下公式:

丰富度指数

$$R = S;$$

Simpson 指数

$$D = 1 - \sum P_i^2;$$

Shannon-Wiener 指数

$$H = - \sum P_i \ln P_i$$

Pielou 均匀度指数

$$J = (- \sum P_i \ln P_i) / \ln S$$

式中, $P_i = N_i/N$, $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$; S 为每个样地内物种总数; N 为每个样地内 S 个物种全部重要值之和; N_i 为第 i 个物种重要值; P_i 为第 i 个物种重要值与全部物种重要值之比^[20-21]。

2.4 胡杨生长分析评价方法

年轮信息是树木生长和环境变化的真实记载^[22]。利用胡杨年轮生长量可以分析种群动态生长信息,但在实际操作中,胡杨主干存在不同程度“空心”现象,且作为保护物种的胡杨也不允许对整棵植株进行破坏,因此获取主干年轮的方法可行性较低。而胡杨侧枝与主干年轮相关性较好^[23],李霞等^[7-8]2006—2007 年利用胡杨侧枝年轮评价下游输水效果,证明侧枝生长与输水关系密切。因此本研究采用胡杨侧枝枝轮生长量替代主干年轮生长量来分析胡杨种群动态生长信息。具体方法为在每个样方内采集 3 株胡杨侧枝,所选样枝全部为主干一级枝。每株样枝从基部截取 5cm 厚圆盘编号后带回实验室备测。在实验室用打磨机将样枝圆盘抛光打磨后,利用高分辨率彩色扫描仪将胡杨截面图象逐个扫描到计算机内。在 Photoshop 支持下,以髓心为圆心,按垂直相交 4 个方向测定 1998—2007 年的年轮宽度并取其均值作为统计分析的基础数据(图 2)。所

获得数据采用 Excel 及 SPSS 软件进行处理。

3 结果与分析

3.1 胡杨群落特征分析

3.1.1 物种组成分析

塔里木河中游河岸胡杨群落物种组成比较简单,共 13 种植物(表 1),分属于 10 科 13 属,其中禾本科、豆科和藜科各 2 种,其他各科分别只有 1 种。生活型方面,乔木 2 种,灌木、半灌木 3 种,多年生草本 6 种,1 年生草本 2 种。不同断面物种最多为沙子河,其次是恰拉;物种最少的为阿其河,其次是乌斯满和铁依孜,表现出护堤内侧物种数量高于护堤外侧,并且外侧样地缺乏一年生草本植物。中游各断面共有种为胡杨、多枝怪柳、芦苇和甘草,4 种植物分别为乔木层、灌木层和草本层的优势种,它们对构建中游荒漠河岸群落起着关键作用。

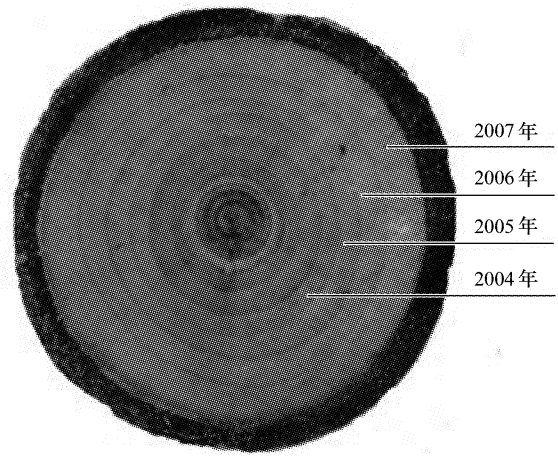


图 2 胡杨侧枝年轮图

Fig.2 The picture of the growth ring of the branches of *Populus euphratica*

表 1 不同断面胡杨群落植被组成及其数量特征

Table 1 Species composition and quantitative characteristics of *P. euphratica* communities in the different sections

断面 Sections	植物种类 Species	生活型 Lifeform	密度 Density /(plant·hm ⁻²)	频度 Frequency /%	盖度 Cover degree /%	重要值 Importance value /%
卡哈 Kaha	胡杨 <i>Populus euphratica</i>	I	1850	100.0	32.06	12.14
	沙枣 <i>Elaeagnus angustifolia</i>	I	67	100.0	0.39	1.16
	多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	II	1533	83.3	8.00	6.98
	铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>	II	467	16.7	2.40	1.56
	拂子茅 <i>Calamagrostis epigeios</i>	IV	97500	100.0	81.58	37.14
	甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	IV	15000	100.0	12.83	11.22
	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	IV	74167	100.0	62.14	29.80
沙子河 Shazihe	胡杨 <i>Populus euphratica</i>	I	1175	100.0	25.78	13.01
Shazihe	多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	II	8200	100.0	43.46	19.93
	铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>	II	3000	75.0	16.76	10.05
	拂子茅 <i>Calamagrostis epigeios</i>	IV	25000	25.0	21.19	16.86
	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	IV	20000	25.0	17.06	13.85
	牛皮消 <i>Cynanchum auriculatum</i>	IV	1563	37.5	2.13	3.63
	骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>	III	3750	37.5	3.94	4.95
	罗布麻 <i>Apocynum venetum</i>	IV	2500	12.5	2.34	2.40
	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	V	1250	12.5	1.31	1.65
	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	V	7813	12.5	6.73	5.61
	甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	IV	5938	62.5	6.30	8.06
乌斯满 Shazihe	胡杨 <i>Populus euphratica</i>	I	1150	100.0	63.13	31.60
Shazihe	多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	II	3200	100.0	33.75	25.92
	铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>	II	1250	62.5	10.00	11.66
	甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	IV	4688	12.5	1.25	9.07
	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	IV	10938	37.5	1.88	21.75
	胡杨 <i>Populus euphratica</i>	I	1450	100.0	73.75	39.38
阿其河 Aqihe	多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	II	1950	100.0	8.75	16.33
	甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	IV	938	12.5	1.25	2.66

续表

断面 Sections	植物种类 Species	生活型 Lifeform	密度 Density /(plant·hm ⁻²)	频度 Frequency /%	盖度 Cover degree /%	重要值 Importance value /%
铁依孜 Tieyizi	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	Ⅳ	36875	75.0	8.63	41.63
	胡杨 <i>Populus euphratica</i>	Ⅰ	900	100.0	57.50	32.24
	沙枣 <i>Elaeagnus angustifolia</i>	Ⅰ	50	12.5	0.63	1.47
	多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	Ⅱ	900	75.0	5.63	10.02
	甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	Ⅳ	8125	62.5	10.00	16.36
恰拉 Qiala	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	Ⅳ	31250	100.0	13.38	39.91
	胡杨 <i>Populus euphratica</i>	Ⅰ	831	100.0	61.25	34.50
	多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	Ⅱ	550	50.0	6.88	8.09
	铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>	Ⅱ	50	12.5	0.25	1.37
	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	Ⅳ	29688	75.0	6.38	35.11
	罗布麻 <i>Apocynum venetum</i>	Ⅳ	1563	25.0	3.13	5.02
	牛皮消 <i>Cynanchum auriculatum</i>	Ⅳ	3438	50.0	5.00	9.81
	盐生草 <i>Halogeton glomeratus</i>	Ⅴ	2500	12.5	1.25	3.85
	甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	Ⅳ	625	12.5	1.25	2.25

Ⅰ. 乔木; Ⅱ. 灌木; Ⅲ. 半灌木; Ⅳ. 多年生草本; Ⅴ. 1 年生草本

3.1.2 胡杨群落物种重要值

如表 1 所示,位于护堤内侧的卡哈样地胡杨重要值为 12.14,低于拂子茅和芦苇两种草本植物,表明该地水分条件较好,有利于草本植物定居和繁殖。沙子河样地胡杨重要值低于多枝怪柳的 19.93 和拂子茅的 16.86,该地各植物重要值均不高,说明物种分布较均匀,群落更稳定。恰拉样地位于各研究断面最末端,胡杨重要值达到 34.5,芦苇重要值为 35.11,除去这两种植物外,其他植物重要值均在 10 以下,表明该断面中胡杨和芦苇优势地位非常明显。位于护堤外侧的乌斯满、阿其河与铁依孜胡杨重要值均高于 30,在群落中作为优势种地位十分明显,但群落物种数量较少,整体稳定性较差,任何对胡杨的破坏活动都将致使群落退化加剧。

3.1.3 物种多样性分析

由表 2 可知,各断面丰富度指数最高的为沙子河(11),最低的为阿其河(4),丰富指数表现为堤内样地高于堤外样地。Simpson 和 Shannon-Wiener 多样性指数最高为沙子河(0.871 和 2.183),最低为阿其河(0.644, 1.124),分布于护堤内侧 3 样地 Shannon-Wiener 指数高于外侧 3 样地。各断面均匀度指数最高为乌斯满,最低为恰拉;除沙子河外,护堤内侧卡哈及恰拉样地均匀度指数均要较护堤外侧样地低。

表 2 不同断面物种多样性指数

Table 2 The species diversity indices in different sections

断面 Sections	丰富度指数 Abundance index (R)	Simpson 指数 Simpson index (D)	Shannon-wiener 指数 Shannon-wiener index (H')	均匀度 Pielou index (J)
卡哈 Kaha	7	0.741	1.532	0.787
沙子河 Shazihe	11	0.871	2.183	0.910
乌斯满 Wusiman	5	0.763	1.514	0.941
阿其河 Aqihe	4	0.644	1.124	0.811
铁依孜 Tieyizi	5	0.700	1.320	0.820
恰拉 Qiala	8	0.737	1.586	0.763

3.2 胡杨种群结构分析

由表 3 可知,沙子河胡杨平均树高最高;恰拉最低。乌斯满断面平均基径、胸径和冠幅等指标均为各断面最高,卡哈断面最低。胡杨胸高断面积最大为乌斯满断面,最小为恰拉断面,乌斯满为恰拉的 3.5 倍。

表 3 不同断面胡杨种群指标均值统计

Table 3 The typical value statistics of *P. euphratica* populations in different sections

断面 The sections	平均树高 The mean height /m	平均基径 The mean basal diameter /cm	平均胸径 The mean DBH /cm	平均冠幅 The mean crown width /m ²	胸高断面积 Basal area /(m ² ·hm ⁻²)
卡哈 Kaha	7.32 ± 2.86	14.09 ± 5.96	12.06 ± 5.83	10.32 ± 8.0	22.25
沙子河 Shazihe	10.65 ± 5.05	21.22 ± 10.81	19.03 ± 10.31	24.69 ± 25.79	43.11
乌斯满 Wusiman	9.35 ± 4.57	28.01 ± 15.38	24.80 ± 13.37	28.85 ± 32.96	71.47
阿其河 Aqihe	9.31 ± 3.40	23.19 ± 11.69	20.19 ± 9.68	24.08 ± 20.93	57.91
铁依孜 Teyizi	8.14 ± 2.69	19.05 ± 7.51	16.51 ± 7.08	21.44 ± 14.89	22.76
恰拉 Qiala	7.29 ± 3.18	18.51 ± 10.15	15.35 ± 8.27	17.59 ± 11.58	19.81

3.2.1 胡杨高度结构

如图 3 所示,卡哈断面胡杨个体树高主要集中在 I—Ⅲ级,所占比例为 68.8%,其中 I 级比例最大,占 34%。沙子河胡杨 I 级比例个体最高,占 53.0%;Ⅱ—Ⅸ级个体分布较均匀,比例均不高,最大 V 级只占 9.0%,其中树高 15m 以上个体所占比例为 12.0%。乌斯满和阿其河胡杨缺乏 I 级个体,Ⅱ—V 级个体在两断面所占比例分别为 81.9% 和 87.9%,种群个体树高大部分都集中在 2.5—12.5m 范围内;大于 15m 个体在乌斯满比例为 13.8%,阿其河为 8.5%。铁依孜 I 级个体所占比例为 25%,另外 V 级所占比例也达到 25%,但缺乏Ⅷ级以上个体。恰拉 I 级个体所占比例为 39.3%,有较多小于 2.5m 个体。Ⅱ—Ⅵ所占比例 59.8%,但无Ⅷ级以上个体分布。除铁依孜外,堤内样地和堤外样地在树高结构上表现出较大差异,堤内各样地胡杨树高主要集中在 I—Ⅲ级,而堤外样地主要集中在Ⅲ—V 级。

3.2.2 胡杨胸径结构

如图 3 所示,卡哈胡杨胸径均分布在 I—Ⅶ级,其中 I 级占 34%,Ⅲ级占 31.3%。I—Ⅳ级为 89.6%,V 级以上个体仅 10.4%。沙子河胡杨胸径 I 级占 53%,拥有大量小径级胡杨;Ⅱ—Ⅹ级分布较均匀,最高Ⅳ级占 12%;最低Ⅷ级比例仅占 1.0%,该断面无Ⅺ级个体分布。乌斯满和阿其河均无 I 级个体分布,表明堤外胡杨种群的更新能力丧失;两断面Ⅲ—Ⅶ级比例和分别为 70.2% 和 78.6%,为胡杨集中分布胸径区间。铁依孜和恰拉 I 级个体分别占 25.0% 和 41.0%,有较多幼龄个体;其中恰拉 I 级个体所占比例最高,而铁依孜Ⅳ级最高。两断面 I—V 级个体比例分别为 91.1% 和 89.2%,为胡杨个体集中分布胸径区间;此外铁依孜Ⅸ级个体只占 0.6%,恰拉无Ⅸ级个体分布。堤内 3 样地胡杨胸径结构为中幼林占多数的增长型种群;堤外各样地除铁依孜外,乌斯满和阿其河均缺乏更新幼苗,主要以中老龄个体为主,为衰退型种群。

3.2.3 胡杨冠幅结构

各断面胡杨种群冠幅结构见图 3,卡哈Ⅱ级个体比例最高,达 43.2%;I—Ⅳ级比例占 91.6%,是该断面冠幅集中分布区间。沙子河Ⅷ级比例最高,占 25.5%;I—Ⅳ级分布较均匀,其比例为 64.9%,为该断面冠幅集中分布区间。乌斯满和阿其河 I 级个体所占比例最小,分别只有 3.3% 和 2.6%。两断面Ⅱ—V 级个体比例分别为 68.5% 和 67.5%,而Ⅷ级个体比例较高,分别为 21.7% 和 18.8%。铁依孜和恰拉胡杨冠幅结构较相似,各级个体分布较均衡。铁依孜Ⅳ级比例最高,占 20.6%;Ⅶ级最低,占 7.1%。恰拉 I 和Ⅲ级比例最高,均占 15.8%,最低为Ⅷ级,占 6.8%。

3.2.4 胡杨基径、胸径与树高的关系

对中游各断面记录的所有胡杨个体基径、胸径与树高作回归分析(图 4),结果表明基径、胸径与树高有明显线性关系,其中基径与树高回归方程为: $y = 0.2612x + 3.2039$, $R^2 = 0.5952$, $P < 0.01$;胸径与树高的回归方程为: $y = 0.302x + 3.2203$, $R^2 = 0.6204$, $P < 0.01$ 。依 R^2 可知胸径与树高的关系要比基径与树高密切。

3.3 胡杨侧枝生长分析

利用胡杨侧枝年半径生长量对塔里木河中游各断面胡杨种群 1998—2007 年生长信息进行分析,结果如表 4 和图 5。卡哈胡杨侧枝生长量在 1998—2007 年间波动较大,生长量最大年份为 2003 年,最小为 2005 年

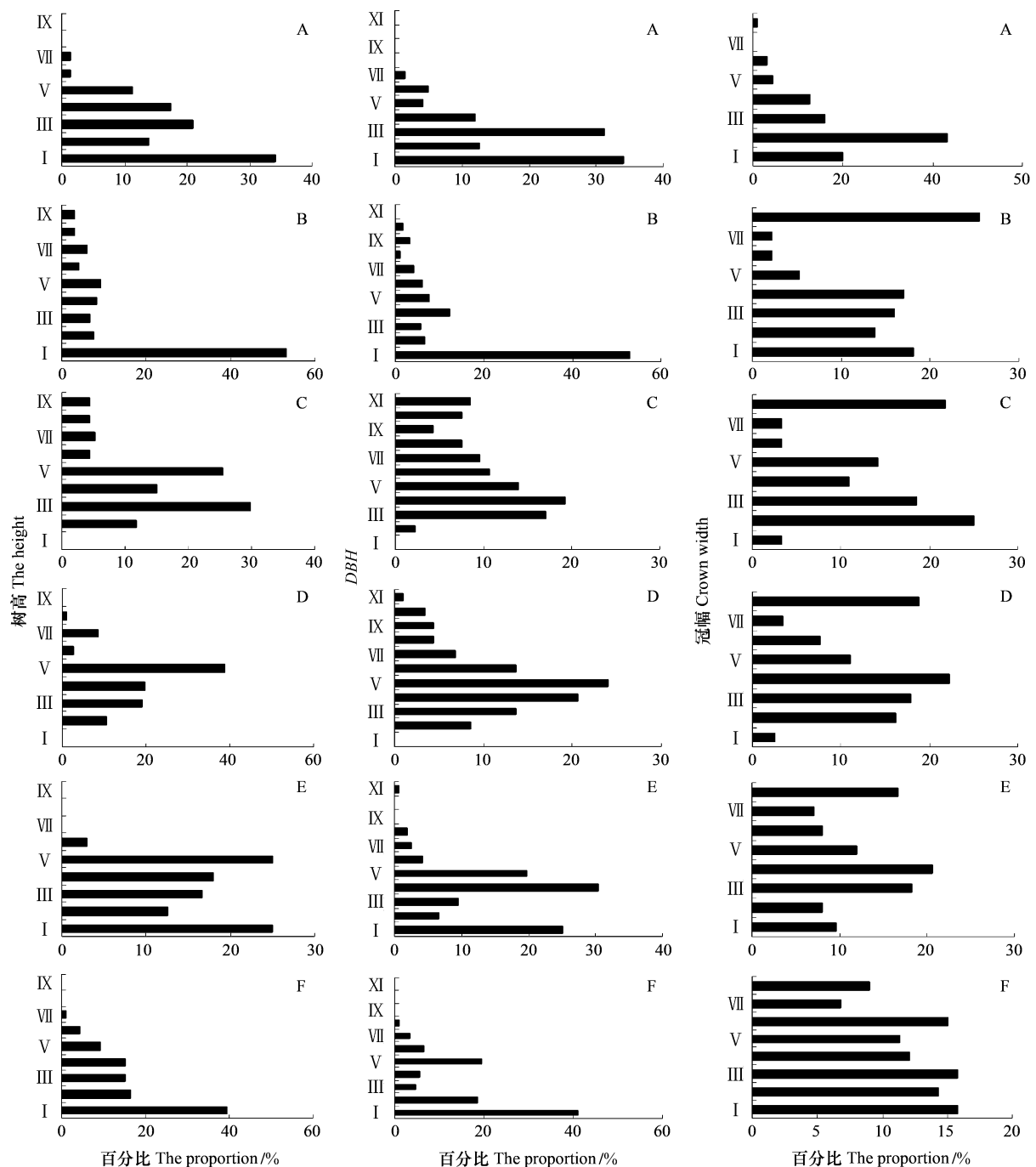


图3 不同断面胡杨种群树高、胸径及冠幅结构

Fig.3 The height, diameter and crown width structure of *P. euphratica* populations in the different sections

的 0.74mm,最大生长量是最小年份的 2.2 倍;其中 1998—2003 年均生长量大于 1mm,而 2004—2007 年小于 1mm。沙子河胡杨侧枝生长量 1999—2002 年逐年增加,2003—2007 年逐年下降;其中 1998—2001 年生长量均值为 0.87mm,而 2002—2007 年生长量均值达到 1.5mm,后者为前者的 1.72 倍。乌斯满胡杨侧枝生长量表现双峰型曲线,其中 2000 年峰值为 1.24mm,2003 年峰值为 1.53mm。除 2001 年外,其它各年份生长量均大于 1mm,2004—2007 年生长量逐年下降。阿其河胡杨侧枝各年生长量较低,1998—2007 年的均值只有 0.93mm。该断面生长量最大为 2002 年的 1.12mm,最小值是 1998 年的 0.68mm,2003—2007 年生长量为逐年下降势。铁依孜胡杨侧枝生长量最大值为 2003 年的 1.72 mm,最小为 2006 年的 0.71 mm,最大值是最小

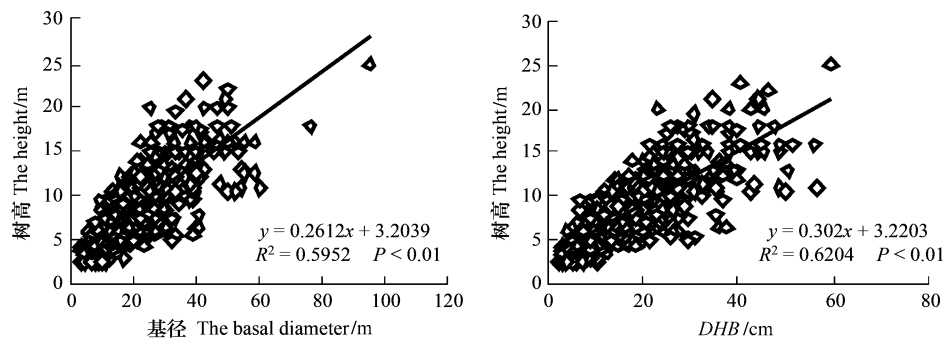


图4 基径、胸径与树高回归曲线图

Fig.4 Regression curves among the basal diameter, DBH and the height

值的2.4倍。从1998—2003年侧枝生长量呈增加趋势,2004—2007年生长量逐年下降。恰拉胡杨侧枝生长量最大值出现在2001年;最小值为2003年的1.09mm。各年侧枝生长量均大于1mm,且从2002—2007年生长量波动较小。

表4 不同断面胡杨枝径生长量及英巴扎年径流量

Table 4 The annual increment of <i>P. euphratica</i> branches in different sections and the annual flow rate in Yinbazha station										
断面 Sections	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
径流量 Flow /($\times 10^8\text{m}^3$) [*]	27.28	32.24	21.41	20.95	29.99	24.44	10.19	25.55	23.83	—
A	1.27±0.8	1.08±0.6	1.34±0.37	1.14±0.94	1.15±0.47	1.65±0.85	0.79±0.3	0.74±0.44	0.99±0.65	0.9±0.47
B	0.85±0.57	0.64±0.22	0.77±0.29	1.21±0.64	1.75±0.96	1.65±0.83	1.36±0.56	1.58±0.74	1.34±0.83	1.3±0.85
C	1.01±0.43	1.13±0.35	1.24±0.69	0.97±0.33	1.14±0.87	1.53±0.84	1.45±0.65	1.26±0.72	1.24±0.71	1.04±0.62
D	0.68±0.12	1.1±0.62	0.94±0.54	0.82±0.35	1.12±0.54	1.1±0.48	0.92±0.61	1.0±0.66	0.83±0.48	0.74±0.35
E	0.72±0.18	1.4±0.29	1.13±0.39	1.6±1.02	1.56±0.89	1.72±1.18	1.13±0.56	0.83±0.57	0.71±0.48	0.79±0.57
F	1.18±0.73	1.3±0.72	1.27±0.67	1.74±0.46	1.15±0.56	1.09±0.94	1.1±0.69	1.21±0.91	1.2±0.91	1.27±0.95

A. 卡哈; B. 沙子河; C. 乌斯满; D. 阿其河; E. 铁依孜; F. 恰拉;英巴扎年径流量资料来源于塔里木河流域管理局

各断面1998—2007年胡杨侧枝生长量均值最低为阿其河断面,其次为卡哈断面。对中游各断面胡杨生长量差异分析(表5)表明,沙子河与卡哈、阿其河、铁依孜断面,阿其河与乌斯满、铁依孜、恰拉断面胡杨生长量差异性极显著($P<0.01$)。卡哈与乌斯满、恰拉断面差异性显著($P<0.05$),其他各断面间差异性不显著。护堤内侧和外侧多年胡杨生长量差异明显($P=0.006$)。

4 讨论与结论

4.1 输水护堤对胡杨群落结构的影响

塔里木河中游胡杨林主要分布在河道沿岸地区,近年来由于农田开垦加剧,胡杨林被砍伐破坏现象较严重,造成生态环境质量不断下降。自2000年实施的塔里木河综合治理工程对促进下游生态环境恢复起到良好效果,植被覆盖度增加明显,胡杨更新能力增强^[24]。但中游修建的防护堤降低了天然植被物种丰富度^[15],并对胡杨生长产生影响。通过对各断面胡杨群落进行分析,可以发现防护堤内侧样地胡杨群落物种数量明显高于外侧样地,外侧样地草本植物种

表5 不同断面间胡杨枝生长量差异性

Table 5 The difference of the increment of *P. euphratica* branches in the different sections

断面 Sections	A	B	C	D	E
B	0.000	—	—	—	—
C	0.034	0.101	—	—	—
D	0.109	0.000	0.000	—	—
E	0.341	0.006	0.224	0.007	—
F	0.019	0.137	0.844	0.000	0.151

A. 卡哈; B. 沙子河; C. 乌斯满; D. 阿其河; E. 铁依孜; F. 恰拉

类较少且缺乏 1 年生草本,表明防护堤修建降低了堤外胡杨群落物种数量,特别是草本植物数量明显低于护堤内侧。护堤内侧因为可受到季节性洪水冲刷,为各种植物种子萌发提供充足水分条件,对维持群落物种数量有重要意义。而护堤阻断了洪水向外侧的蔓延,使得外侧表层土壤干燥,大部分植物种子丧失了萌发条件,致使外侧植物种类不断减少。另外护堤外侧 3 样地胡杨的重要值均在 30 以上,远高于内侧卡哈和沙子河样地,表明外侧样地胡杨优势作用在不断加强,同时也对胡杨保护提出了更艰巨的任务。

4.2 输水护堤对胡杨种群结构的影响

胡杨种群结构在各断面表现出较大差异,护堤内侧卡哈、沙子河、和恰拉样地 $DBH \leq 2.5\text{cm}$ 幼树所占比例

最高,是以中幼龄个体为主,老龄个体较少的增长型种群。而位于护堤外侧的乌斯满和阿其河两样地无 $DBH \leq 2.5\text{cm}$ 幼树分布,主要以中老龄个体为主,是衰退型种群,若不能有效补充更新幼苗,种群将趋于老龄化并逐渐衰败。位于护堤外侧的铁依孜样地种群结构与乌斯满和阿其河差异较大,拥有较多 $DBH \leq 2.5\text{cm}$ 幼树,更新层较为丰富。其原因主要为该样地位于地下水位较浅的洼地且靠近生态闸附近(生态闸是修建于护堤上的水利工程,可以让部分河水流到护堤外供植被利用),经过实测该地地下水位为 2—3m,当洪水来临时,部分洪水通过生态闸流到堤外并对附近区域浸漫。当胡杨种子成熟落地后,就能在湿润泥土上萌发,形成成片幼苗^[2]。另外较低的地下水位及湿润表土也更有利于胡杨根蘖苗的发育^[25]。护堤内侧各样地因为受到洪水浸漫的机会较多,为胡杨幼苗定居提供了优越条件^[26],所以铁依孜样地种群拥有较多的幼龄个体,种群处于增长态势。

4.3 输水护堤对胡杨生长的影响

胡杨侧枝生长量大小可以间接反映整棵植株生长状况,多个个体侧枝生长信息则反映出胡杨种群生长信息^[7]。在中游各研究断面中,卡哈、乌斯满及铁依孜胡杨侧枝生长量最大值出现在 2003 年,阿其河和沙子河最大值出现在 2002 年,恰拉出现在 2001 年。根据孙卫等^[7]的研究结果,下游地区胡杨侧枝生长在输水后迅速增加,并与输水量有密切关系。下游地区长期处于河道断流状态,地下水位已降至 10m 以下^[16],水分成了下游植被生存的最关键因子,因此近年来的输水极大的缓解了胡杨缺水现状,反映到个体生长上则表现为年轮生长量迅速增加。中游堤内外地胡杨生长表现出明显差异,表明输水护堤影响到了胡杨个体的生长。从各断面胡杨生长量看,除了恰拉断面外,护堤内外各样地胡杨生长趋势一致,1998—2003 年呈上升趋势,2004—2007 年为下降趋势。中游各断面胡杨生长量表现出共同规律,说明胡杨生长受相同外界因素影响。从各年英巴扎水文站径流数据看,1998—2002 年径流量都在 20 亿 m^3 以上,且径流量最大的 3a 全部位于该年份段;2003 年以后各年径流量均不高,其中最少的年份为 2004 年 10.19 亿 m^3 。因此中游来水量是影响中游胡杨生长的关键因素之一,而护堤的修建加剧了护堤内外侧胡杨的生长差异。

4.4 建议

塔里木河中游输水护堤是阻止中游水分耗损的有效途径之一,在洪水季节能为下游人工输水提供更多可利用水分,有利于下游植被恢复。但是输水护堤的修建同时也对中游胡杨造成不利影响,降低了护堤外侧胡杨群落物种数量及生物多样性,阻断了洪水对护堤外侧大片区域的浸漫,使胡杨种群丧失了实生苗更新基础。因此,为了防止中游护堤外侧胡杨群落生物多样性降低及种群难以更新,关键在于要为中游护堤外侧的胡杨林提供更多地表水分,以保证胡杨林更新及林下植被需要。有效途径是应改变现有护堤两侧生态闸较少及距离过大的现状,在护堤两侧开放更多洪水通道及引水口,特别是在堤外胡杨林成片区域要保证有引水口。加

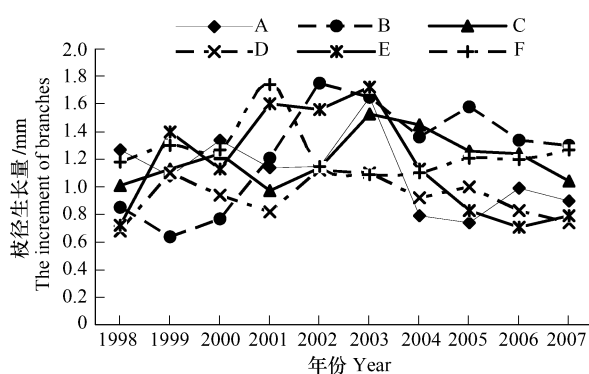


图5 不同断面胡杨枝径生长量

Fig.5 The increment of *P. euphratica* branches in the different sections

A. 卡哈; B. 沙子河; C. 乌斯满; D. 阿其河; E. 铁依孜; F. 恰拉

强对上中游的河水管理,减少浪费,协调中游用水和下游用水。另外还应该对中游护堤外侧采取人工幼苗,以弥补自然成苗困难局面。

References:

- [1] Wei Q J. *Populus euphratica*. Beijing: China Forestry Press, 1990.
- [2] Wang S J, Chen B H, Li H Q. *Populus euphratica* Forest. Beijing: China Environment Science Press, 1995.
- [3] Yan Z L, Huang Q, Chang J X, Wang Y M. Analysis and dynamic monitoring of land use in the main stream of Tarim River valley using remote sensing. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(3): 119-123.
- [4] Gao Q Z, Qu J J, Wang R, Li Y A, Zu R P, Zhang K C. Impact of ecological water transport to green corridor on desertification reversion at lower reaches of Tarim River. *Journal of Desert Reserch*, 2007, 27(1): 52-58.
- [5] Zhuang L, Chen Y N, Li W H, Zhao H Y. Response of leaf and stem water potential of *Populus Euphratica* to osmotic stress in lower reaches of Tarim River. *Journal of Desert Reserch*, 2006, 26(6): 1002-1008.
- [6] Chen Y N, Chen Y P, Li W H, Zhang H F. Response of the accumulation of proline in the bodies of *Populus euphratica* to the change of groundwater level at the lower reaches of Tarim River. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(18): 1995-1999.
- [7] Li Xia, Hou P, Yang P N. 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. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 23(1): 26-31.
- [8] Sun W, Hou P, Li X. Increment in branch diameter of *Populus Euphratica* transportation to downstream Tarim River, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 2913-2917.
- [9] Han L, Wang H Z, Zhou Z L, Li Z J. Population structure and demography of *Populus euphraticu* in upper and middle reaches of Tarim River. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1315-1322.
- [10] Han L, Wang H Z, Peng J, Mo Z X. Spatial distribution patterns and dynamics of major population in *Populus euphratica* forest in upper reaches of Tarim River. *Acta Botanica Boreal-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(8): 1668-1673.
- [11] Yin L K, Li T. Interspecific relationship analysis of desert riparian forest plant communities in the middle and lower reaches of the Tarim River. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(2): 226-234.
- [12] Liu J Z, Chen Y N, Zhang Y M. Analysis on ecological characteristics of main plants in middle reaches of Tarim River. *Geographical Research*, 2003, 22(5): 663-670.
- [13] Liu J Z, Chen Y N, Zhang Y M. Niche characteristics of plants on four gradients in middle reaches of Tarim River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4): 549-555.
- [14] Zhang Y M, Zhang D Y, Chen Y N. Plant communities and their interrelations with environmental factors in the middle reaches of the Tarim River. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 109-118.
- [15] Chen Y J, Li W H, Liu J Z. Analysis on the effects of water conveyance embankments on the ecological conservation in the middle reaches of the Tarim River. *Arid Zone Research*, 2008, 25(4): 550-555.
- [16] Liu Y L, Jiao G H. Report on field survey of middle and lower reaches of Tarim River. Beijing: China Statistics Press, 2000: 16-17, 163-178.
- [17] Huang P Y. Arid ecology. Urumqi: Xinjiang University Press, 1993: 218-231.
- [18] Yu D P, Zhou L, Dong B L, Dai L M, Wang Q L. Structure and dynamics of *Betula ermanii* population on the Northern slope of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(5): 30-34.
- [19] Yu Q, Xie Z Q, Xiong G M, Chen Z G, Yang J Y. Community characteristics and population structure of dominant species of *Abies fargesii* forests in Shennongjia National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 1931-1941.
- [20] Ma K P, Liu Y M. Measurement of biotic community diversity I. α Diversity (Part 2). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2: 231-239.
- [21] Ma K P. Measurement of biotic community diversity I. α Diversity (Part 1). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2: 162-168.
- [22] Watmough S A, Hhtchinson T C, Sager P S. Changes in tree ring chemistry in sugar maple along an urban-rural gradient in southern Ontario. *Environmental Pollution*, 1998, 101: 1-11.
- [23] Li X, Zhang H F, Chen J F, Wang J G. Analysis on the relevance between *Populus*'s trunk annual ring and their first branch annual ring. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2006, 29(4): 14-17.
- [24] Yan Z L, Huang Q, Niu B R, Ma K. Effects of emergent water project on vegetation coverage in the lower reaches of Tarim River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 621-626.
- [25] Zhao W Z, Chang X L, Li Q Y. Artificial water diversion effects of Heihe River on *Populus euphratica Oliv.* desert riparian forests in Ejina. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 1987-1993.

- [26] Xu H L, Ye M, Li J M, Wang W J. The influence of the river flooding disturbance on the native vegetation restoration in the lower reaches of Tarim River. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 4990-4998.

参考文献:

- [1] 魏庆莒, 胡杨. 北京: 中国林业出版社, 1990, 1-99.
- [2] 王世绩, 陈炳浩, 李护群. 胡杨林. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [3] 闫正龙, 黄强, 畅建霞, 王义民. 塔里木河干流土地利用动态监测遥感分析. *农业工程学报*, 2008, 24(3): 119-123.
- [4] 高前兆, 屈建军, 王润, 李宇安, 俎瑞平, 张克存. 塔里木河下游绿色走廊生态输水对沙漠化逆转的影响. *中国沙漠*, 2007, 27(1): 52-58.
- [5] 庄丽, 陈亚宁, 李卫红, 赵红艳. 渗透胁迫条件下植物茎叶水势的变化(以塔里木河下游胡杨为例). *中国沙漠*, 2006, 2(6): 1002-1008.
- [7] 李霞, 侯平, 杨鹏年. 塔里木河下游胡杨对水分条件变化的响应. *干旱区研究*, 2006, 23(1): 26-31.
- [8] 孙卫, 侯平, 李霞. 胡杨枝直径生长对塔里木河下游应急输水的响应. *生态学报*, 2006, 26(9): 2913-2917.
- [9] 韩路, 王海珍, 周正立, 李志军. 塔里木河上、中游胡杨种群结构与统计分析. *生态学报*, 2007, 27(4): 1315-1322.
- [10] 韩路, 王海珍, 彭杰, 莫治新. 塔里木河上游天然胡杨林种群空间分布格局与动态研究. *西北植物学报*, 2007, 27(8): 1668-1673.
- [11] 尹林克, 李涛. 塔里木河中下游地区荒漠河岸林群落种间关系分析. *植物生态学报*, 2005, 29(2): 226-234.
- [12] 刘加珍, 陈亚宁, 张元明. 塔里木河中游主要植物种群的生态特征分析. *地理研究*, 2003, 22(5): 663-670.
- [13] 刘加珍, 陈亚宁, 张元明. 塔里木河中游植物种群在四种环境梯度上的生态位特征. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 549-555.
- [14] 张元明, 陈亚宁, 张道远. 塔里木河中游植物群落与环境因子的关系. *地理学报*, 2003, 58(1): 109-118.
- [15] 陈永金, 李卫红, 刘加珍. 塔里木河干流中游输水堤防对生态保育的影响. *干旱区研究*, 2008, 25(4): 550-555.
- [16] 刘宴良. 塔里木河中下游实地勘探报告. 北京: 中国统计出版社, 2000: 16-17, 163-178.
- [17] 黄培佑. 干旱生态. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 1993: 218-231.
- [18] 于大炮, 周莉, 董百丽, 代力民, 王庆礼. 长白山北坡岳桦种群结构及动态分析. *生态学杂志*, 2004, 23(5): 30-34.
- [19] 于倩, 谢宗强, 熊高明, 陈志刚, 杨敬元. 神农架巴山冷杉林群落特征及其优势种群结构. *生态学报*, 2008, 28(5): 1931-1941.
- [20] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(下). *生物多样性*, 1994, 2: 231-239.
- [21] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(上). *生物多样性*, 1994, 2: 162-168.
- [23] 李霞, 张绘芳, 陈敬锋, 王建刚. 胡杨主干与一级枝年轮宽度相关性分析. *新疆农业大学学报*, 2006, 29(4): 14-17.
- [24] 闫正龙, 黄强, 牛宝茹, 马凯. 应急输水工程对塔里木河下游地区植被覆盖度的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(3): 621-626.
- [25] 赵文智, 常学礼, 李秋艳. 人工调水对额济纳胡杨荒漠河岸林繁殖的影响. *生态学报*, 2005, 25(8): 1987-1993.
- [26] 徐海量, 叶茂, 李吉玫, 王卫江. 河水漫溢对荒漠河岸林植物群落生态特征的影响. *生态学报*, 2007, 27(12): 4990-4998.