

# 敦煌绿洲不同生境胡杨种群结构与空间格局研究

刘普幸<sup>1</sup> 鹿晨昱<sup>1</sup> 姚晓军<sup>1,2</sup> 曹立国<sup>1</sup>

(1 西北师范大学地理与环境科学学院 2 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所)

**摘要:**在敦煌绿洲天然胡杨林内设置5个样地(共计6.25 hm<sup>2</sup>)，应用相邻格子法，进行每木调查，结合7种聚集度指标，研究了不同生境胡杨种群的年龄结构与空间分布格局。结果表明：研究区幼苗缺失，幼树极少，年龄结构大体呈倒金字塔型，为衰退种群；林分偏老，十分稀疏矮小。不同生境胡杨种群年龄结构差异显著，其中后坑胡杨种群的年龄结构最不完整，衰退演替速度最快。除大马迷兔外，研究区胡杨表现为聚集分布，这与其自身的生理生态学特性及地形、水资源、气候、土壤等异质性生境密不可分。

**关键词：**敦煌绿洲；胡杨；种群结构；空间分布格局；聚集强度

中图分类号：S718.54 文献标志码：A 文章编号：1000-1522(2011)02-0048-05

LIU Pu-xing<sup>1</sup>; LU Chen-yu<sup>1</sup>; YAO Xiao-jun<sup>1,2</sup>; CAO Li-guo<sup>1</sup>. Structure and spatial distribution patterns of *Populus euphratica* populations from different habitats in the Dunhuang Oasis. *Journal of Beijing University* (2011) 33(2) 48-52 [Ch 27ref. ]

1 College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou, 730070, P. R. China;

2 Cold and Arid Region Environment and Engineering Research Institute, Lanzhou, 730000, P. R. China.

In order to investigate the age structure and spatial distribution patterns of *Populus euphratica* populations in different habitats, five plots, totally 6.25 hm<sup>2</sup>, were established in the Dunhuang Oasis, western China. Seven aggregation indices were measured using a contiguous quadrat method and tally inventory. The results indicated that the study area was short of saplings, and juveniles were scarce, resulting in an inverse pyramidal age structure of *P. euphratica* populations and showing a trend of declining populations. The *P. euphratica* stands were aged, sparse and dwarfish. The age structure of *P. euphratica* populations varied remarkably among different habitats, among which, that of HK population was the most incomplete with the fastest declining succession. In general, the spatial distribution of *P. euphratica* populations conformed to a clumped distribution pattern except for the DMMT population. The age structure and the spatial distribution pattern of *P. euphratica* populations were closely related to biological and ecological characteristics of the species and the heterogeneous environmental factors such as landform, water resources, climate and soil.

**Key words** Dunhuang Oasis; *Populus euphratica*; population structure; spatial distribution pattern; aggregation intensity

胡杨(*Populus euphratica* Oliv.)属杨柳科(Salicaceae)杨属中最古老、最原始的荒漠特有珍贵树种和建群优势种，系上新世古地中海子遗种，亚洲中部荒漠区中分布最广的乔木树种之一<sup>[1]</sup>，是我国首批确定的388种珍稀濒危植物中的渐危种之

—<sup>[2]</sup>是联合国粮农组织(FAO)林木基因资源组1993年6月确定的全世界干旱和半干旱地区急需优先保护的林木基因资源之一<sup>[3]</sup>。

敦煌绿洲是河西走廊最西端的绿洲，境内天然胡杨林是仅次于新疆塔里木和额济纳旗胡杨林的第

收稿日期：2010-08-27

基金项目：国家自然科学基金项目(40961035)、甘肃省自然科学基金项目(0803RJZA094)。

第一作者：刘普幸，博士，教授。主要研究方向：干旱区域环境与绿洲建设、树轮水文学。电话：0931-7971565 Email: fmlpx@nwnu.edu.cn  
地址：730070 兰州市安宁东路 967 号西北师范大学地理与环境科学学院自然地理专业。

本刊网址：<http://www.bjfujournal.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

3大胡杨林区——河西走廊的最大天然林区。本区属于暖温带干旱荒漠气候,自然环境十分恶劣,生态系统极其脆弱。胡杨林作为走廊绿洲的第一道天然植被阻沙屏障,对于维护当地生态平衡,保护生物多样性,维护绿洲稳定具有不可替代的作用。

目前,对西北干旱区绿洲胡杨的研究进展较快,成果颇丰<sup>[4-18]</sup>,主要集中在新疆塔里木盆地和额济纳旗的胡杨生物生理学特性<sup>[4-8]</sup>、胡杨树木年代学<sup>[9-10]</sup>、更新复壮及遗传和繁殖<sup>[11-13]</sup>、水资源变迁对胡杨的影响<sup>[14]</sup>等方面的研究。而胡杨种群结构和种群格局方面的研究甚少<sup>[15-18]</sup>。本文通过对敦煌绿洲不同生境胡杨种群的结构特征和空间分布格局进行分析,旨在阐明研究区胡杨种群结构和空间分布格局的特征,揭示种群数量动态、发展趋势、演替规律及种群与环境间的相互关系,拟为研究区天然胡杨种群的更新与复壮,生态环境恢复与重建提供科学决策依据。

## 1 研究区概况

敦煌市位于河西走廊最西端,地处 $92^{\circ}13' \sim 95^{\circ}30'E$ , $39^{\circ}40' \sim 41^{\circ}35'N$ 之间,东接瓜州县,南连肃北蒙古族自治县和阿克塞哈萨克族自治县,西和北与新疆维吾尔自治区接壤,总土地面积 $3.12 \times 10^4 km^2$ 。大部分为戈壁,绿洲面积仅占4.49%。平均海拔1 138.7 m,地势南北高中间低,自东向西微倾斜,地貌大体可分为南部山地、北部(北山)丘陵和走廊平原三大类。敦煌绿洲深居内陆,属典型的大陆性暖温带干旱气候。多年平均气温9.6 °C,多年平均降水38.1 mm,多年平均蒸发量2 486 mm。日照充足,辐射量高。年平均日照时数3 246.7 h,日照百分率达73%,多大风。天然植被主要有胡杨(*Populus euphratica*)、柽柳(*Tamarix ramosissima*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、芦苇(*Phragmites communis*)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)、罗布麻(*Poacynum hendersonii*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)等。主要土壤类型为灌淤土、潮土、风沙土、棕漠土、盐土、草甸土、沼泽土。党河是目前维系敦煌绿洲生存的唯一水源,全长390多km,年均径流量 $2.876 \times 10^8 m^3$ 。

## 2 研究方法

### 2.1 样方调查

通过在河西走廊敦煌绿洲天然胡杨林分布集中的西湖国家级自然保护区内多次充分踏查后,

于2009年9月上中旬进行野外样地调查,考虑胡杨的集中分布、疏林特征、生境条件、及林分的代表性、一致性,选择地势较平坦、个体生长良好、人为干扰极小的后坑(HK)、小马迷兔(XMMT)、湾窑洞(WYD)、大马迷兔(DMMT)和疏勒河河床(SLH)地段,分别设置典型的 $150 m \times 150 m$ 样方1个、 $100 m \times 100 m$ 样方4个。在每个样方内采用相邻格子法分别布设100个 $15 m \times 15 m$ 、400个 $10 m \times 10 m$ 的小样方。对每个样方中的胡杨每木定位、确定地理坐标,记录海拔,郁闭度和下垫面立地条件。统计株数,对所有胸径 $\geq 2.5 cm$ 的活立木逐木测量其胸径、树高和冠幅等指标。样地中没有胡杨的记为“0”。

### 2.2 胡杨种群年龄结构的建立

由于利用瑞士生长锥钻取的研究区胡杨树芯多为空心或朽心,采用树木年轮学来确定其个体的确切年龄较为困难,因此,本文采用生态学的大小结构代替年龄结构分析优势种群的结构动态特征。考虑到研究区各样地所有胡杨平均直径为29.44 cm,均超过了12 cm,把直径 $0 \sim 4 cm$ 以下按幼苗记为I级,依次类推共划分为11个大小级,把直径大于40 cm都归为第XI级<sup>[15]</sup>。统计胡杨各龄级株数,以径级为纵轴,株数/ $hm^2$ 为横轴,绘制胡杨种群年龄结构图。

### 2.3 数据处理方法与胡杨种群空间格局的确定

本文主要选取以下7种指标,来研究判定不同生境胡杨种群的空间格局类型和聚集强度。1)负二项参数( $K$ )<sup>[15,19]</sup>: $K$ 值用于度量聚集程度,其中 $K$ 值愈小,聚集度越大;如果 $K$ 值趋于无穷大(一般为8以上),则逼近Poisson分布。当 $K < 0$ 时,为均匀分布; $K > 0$ 时,为聚集分布。2)丛生指数( $I_t$ )<sup>[18,20]</sup>:当 $I_t < 0$ 时,为均匀分布; $I_t = 0$ 时,为随机分布; $I_t > 0$ 时,为聚集分布。3)平均拥挤度( $m^*$ )<sup>[18]</sup>:也称平均拥挤指数,它反映了样方内生物个体的拥挤程度,数值越大聚集强度越大,表示一个个体受其他个体的拥挤效应越大。4)聚块性指数 $= m^*/m$ <sup>[15,21]</sup>,式中: $m^*$ 为平均拥挤度, $m$ 为样本平均值。当 $m^*/m < 1$ 时,为均匀分布; $m^*/m = 1$ 时,为随机分布; $m^*/m > 1$ 时,为聚集分布。5)Cassie指数( $C_a$ )<sup>[18,20]</sup>:若 $C_a < 0$ ,为均匀分布; $C_a = 0$ ,为随机分布; $C_a > 0$ ,为聚集分布。6)扩散系数( $C_d$ )<sup>[20]</sup>,是检验种群扩散是否属于随机型的一个系数,当 $C_d < 1$ 时,为均匀分布; $C_d = 1$ ,则为随机分布; $C_d > 1$ ,则个体趋向于集群分布,该值的显著性可以用t检验。7)Morisita指数( $I_\delta$ )<sup>[19,22]</sup>:如果 $I_\delta < 1$ ,则趋于均匀分布; $I_\delta = 1$ ,为随机分布; $I_\delta > 1$ ,则趋于集群分布。分布类型结论可

通过  $F$  检验来判定。

### 3 结果与分析

#### 3.1 胡杨种群年龄结构特征分析

从图1可以看出,敦煌绿洲胡杨种群的年龄结构总体特征表现为:幼苗(I级)缺失,幼树(II级)较少

,个体数占总数的4.10%;中龄中树(III~VI)较多,占总数的33.36%;老龄大树(VII~X)最多,占总数的38.82%;老树(XI)较多,占总数的23.72%。年龄结构大体呈倒金字塔型,为衰退种群。胡杨林分偏老、十分稀疏、极其矮小。由于总体数量较少,趋于衰退演替的速度将会较快。

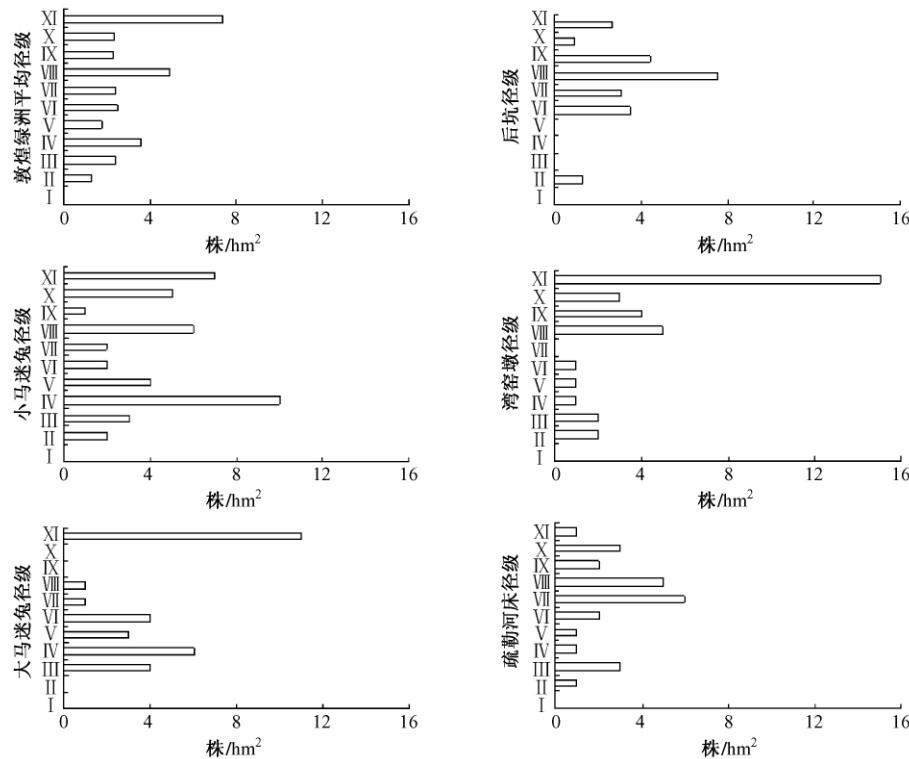


图1 敦煌绿洲不同生境胡杨种群年龄结构

Fig. 1 Age structures of *P. euphratica* populations from different habitats in the Dunhuang Oasis

从不同生境来看,敦煌绿洲胡杨种群的年龄结构差异明显,反映了不同生境对胡杨种群年龄结构具有不同影响。胡杨种群的年龄结构特征具体表现如下。

后坑胡杨种群的年龄结构很不完整,幼苗缺失,幼树甚少,1.3株/ $\text{hm}^2$ ,占总数的5.52%;III~V级中树缺失,VI级中树少,占总数的15.09%;大树最多,占总数的67.91%,平均4.0株/ $\text{hm}^2$ ;老树少,占总数的11.32%。年龄结构呈偏正态型,为衰退种群。胡杨数量在5个点中最少,龄级集中在VII~XI,林分很老且矮小,平均树高5.16 m,最稀疏,共计23.56株/ $\text{hm}^2$ 。未来趋于衰退演替的速度最快。

小马迷兔胡杨种群年龄结构表现为:幼苗缺失,幼树很少,2.0株/ $\text{hm}^2$ ,占总数的4.76%;中树所占比例最大,占总数的45.24%;大树较多,占总数的33.33%;老树占总数的16.67%,7.0株/ $\text{hm}^2$ 。林分中偏大,最矮小,平均树高仅3.47 m。较稀疏,平均4.2株/ $\text{hm}^2$ 。年龄结构呈偏正态型,为衰退种群。

是下游胡杨种群龄级结构相对最齐全的分布区。

湾窑墩胡杨种群的年龄结构表现为:幼苗缺失,幼树很少,为2.0株/ $\text{hm}^2$ ,占总数的5.88%;中树数量在下游最少,仅14.71%;大树较多,占总数的35.29%;老树最多,占总数的44.12%,15.0株/ $\text{hm}^2$ 。年龄结构呈不规则倒金字塔型,为衰退种群。林分在5个点中最老,很矮小,平均树高3.80 m。很稀疏,平均3.78株/ $\text{hm}^2$ 。未来胡杨种群衰退演替的速度将很快。

大马迷兔胡杨种群的年龄结构最不完整。幼苗和幼树缺失;中树最多,占总数的56.67%;大树很少,仅占总数的6.67%;老树较多,36.67%。林分中龄,很矮小,平均树高3.83 m。稀疏,4.29株/ $\text{hm}^2$ 。年龄结构呈不规则倒金字塔型,为衰退种群。未来胡杨种群朝着衰退演替的速度较快。

疏勒河河床胡杨种群年龄结构为:幼苗缺失,幼树不多,占总数的4.00%;中树较多,占总数的28.00%;大树最多,占总数的64.00%;老树甚少,

占总数的 4.00%。年龄结构呈偏正态型,为衰退种群。林分很老,很稀疏,平均 2.50 株/ $\text{hm}^2$ 。矮小,平均树高 4.35 m。未来胡杨种群趋于衰退演替的速度也较快。

总之,未来研究区因缺乏幼苗而成为衰退种群,并与塔里木河中游沙地胡杨<sup>[17]</sup>和额济纳旗胡杨<sup>[18]</sup>呈衰退型种群的研究结论相一致;因胡杨林十分稀疏趋于衰退演替的速度会很快。

表 1 敦煌绿洲不同生境胡杨种群空间格局类型

Tab. 1 Types of spatial distribution pattern of *P. euphratica* populations from different habitats in the Dunhuang Oasis

不同生境	<i>K</i>	<i>I<sub>t</sub></i>	<i>m<sup>*</sup></i>	<i>m<sup>*</sup> /m</i>	<i>C<sub>a</sub></i>	指数	扩散系数			Morisita 指数			类型
							<i>C<sub>d</sub></i>	<i>t</i>	<i>t<sub>0.05</sub></i>	<i>I<sub>δ</sub></i>	<i>F</i>	<i>F<sub>0.05</sub></i>	
HK	0.101	2.326	2.562	10.875	0.548	3.326	17.295 ***	1.98	4.862	1.880 **	1.43	C	
XMMT	0.705	0.581	0.991	2.418	0.238	1.581	4.091 ***	1.98	2.439	1.596 *	1.43	C	
WYD	0.774	0.439	0.779	2.291	0.149	1.439	3.089 **	1.98	2.317	1.439 *	1.43	C	
DMMT	-3.300	-0.091	0.209	0.697	-0.027	0.909	-0.640	1.98	0.690	0.909	1.43	E	
SLH	0.309	0.808	1.058	4.232	0.202	1.808	5.685 ***	1.98	4.333	1.808 **	1.43	C	

注:C 为集群分布;E 为均匀分布。\*\*\* $P < 0.001$ ; \*\* $P < 0.01$ ; \*  $P < 0.05$ 。

从表 1 可以看出,除大马迷兔呈均匀分布外,敦煌绿洲不同生境的胡杨种群总体呈聚集分布。这与已有研究表明的塔里木河下游胡杨种群在不同离河距离大都表现为集群分布<sup>[16]</sup>和额济纳旗绿洲胡杨种群的分布格局为强集群分布<sup>[18]</sup>的研究结论相一致。

### 3.2.2 不同样地面积胡杨种群的空间格局强度

研究区不同面积样地的格局强度最大值和聚集强度差异明显。从表 1 可以看出,HK 样地面积 2.25  $\text{hm}^2$ ,居 5 个样地之首,其最大聚集强度 *C<sub>d</sub>* 为 3.326, *I<sub>δ</sub>* 为 4.862, 呈聚集分布,是研究区 5 个样地中聚集强度最大的样地。相同面积样地的格局强度最大值也有区别。同样是在 1  $\text{hm}^2$  的样地,SLH 样地比 XMMT、WYD 和 DMMT 样地的聚集强度要大,拥有最大聚集强度:*C<sub>d</sub>* 为 1.808, *I<sub>δ</sub>* 为 4.333, 呈显著的聚集分布;其次是 XMMT 和 WYD,聚集强度 *C<sub>d</sub>*、*I<sub>δ</sub>* 值分别为 1.581、2.439 和 1.439、2.317, 呈较强的聚集分布; DMMT 样地的聚集强度 *C<sub>d</sub>* 为 0.909, *I<sub>δ</sub>* 为 0.690, 最小, 呈均匀分布。

造成上述空间格局的主要原因可以解释为:一方面取决于胡杨种群本身生物学特性,因为同一植物种的个体对环境等条件的要求基本一致。生长在研究区的胡杨,经过长期不断地通过有性或无性繁殖产生新的个体,逐渐淘汰原来群落中竞争力弱的个体,形成集群分布,成为生命力强的优势种群。同时,由于受洪水水面传播种子发育更新等生态特性的影响,也呈集群分布。这是胡杨在研究区自然环境中的一种表现形式,是它与周围环境相互适应的产物。特别是目前研究区胡杨种群中幼苗缺失,幼树较少,中树和大树多,老树较多,幼、中树聚集分布

## 3.2 胡杨种群空间分布格局分析

### 3.2.1 不同生境胡杨种群的空间格局

敦煌绿洲不同生境胡杨种群的空间分布格局分析,是对物种生物学特性、种间关系和生境条件等因素综合利用下的种群个体水平空间配置和分布状态的定量描述。本文计算得出了敦煌绿洲不同生境胡杨种群的空间格局类型及聚集强度指标结果(表 1)。

在中、大树周围,出现在中、大树的斑块间隙,形成集群分布,能够增强生产力,抵抗外界的干扰;另一方面则与研究区胡杨种群的生境条件密切相关,例如生物的竞争。由于胡杨是研究区干旱环境中的优势种,具有很强的竞争力,使其集中分布在敦煌绿洲西端的西湖国家级自然保护区,其他地方很少,多为零星分布;除此之外还可能包括与胡杨生长的异质性生境,即地形、水文水资源、气候、土壤等环境资源因素有密切关系。因为集群能更好地改变微气候和小生境,增强抗性并有利于个体生存<sup>[23]</sup>。自 20 世纪 60 年代疏勒河下游干涸,研究区地下水位逐渐下降,土地沙化、土壤盐渍化现象日益突出,生境恶化,加之胡杨林生长的微地形差异与环境演变,不仅使胡杨长势较差,胡杨种群的分布格局表现不同,而且导致了研究区不同生境胡杨种群符合集群分布格局,也是适应环境的结果。此外,树种间的相互作用对维持森林结构和功能的稳定起了重要作用<sup>[24]</sup>。

## 4 结论与讨论

1) 敦煌绿洲胡杨种群的年龄结构不完整,幼苗缺失,幼树不多,年龄结构大体呈倒金字塔型,为衰退种群。胡杨林分偏老、十分稀疏、矮小。不同生境胡杨种群的年龄结构差异显著。未来研究区因缺乏幼苗,总体数量稀少,而呈衰退种群并趋于快速衰退演替。

已有研究表明,胡杨种子的发芽条件要求极其苛刻。实生苗的自然产生依存于径流淤积的山洪冲沟和漠地河流的河漫滩等地形<sup>[25]</sup>。因此,导致研究区胡杨成为衰退种群的原因主要是由于自 20 世纪 60 年代疏勒河下游干涸以来,洪水漫流的自然过程

受到抑制,天然洪水水面携带种子的能力骤降,加之气候干旱,蒸发强烈,中游水资源利用不合理致使下游土壤表层聚盐现象日渐明显;不仅使已有胡杨林因生存环境日益恶化出现空心、朽心的衰败现象,与我们野外观察到稀疏矮小,病虫害严重的事相符合;而且严重限制了胡杨种子的繁殖和更新,造成幼苗缺失,胡杨种群更新资源严重不足。

2)敦煌绿洲胡杨种群在不同生境主要表现为聚集分布,并与已有研究表明自然状态下新疆塔里木河下游<sup>[16]</sup>和额济纳旗<sup>[18]</sup>胡杨种群呈聚集分布格局的结论相吻合。一方面主要取决于胡杨发生和生长的生物生态学特性,又与水文水资源、气候、土壤和地形等异质性环境密切相关;另一方面是胡杨种群对异质性环境的具体响应。其格局规模和聚集强度最终是胡杨对不同生境长期适应的反映<sup>[26]</sup>。

3)合理统筹兼顾疏勒河流域水资源,为胡杨种子萌发创造条件。自20世纪60年代疏勒河中游修建双塔水库后,下游敦煌绿洲来水量日益减少,河道断流,地下水补给系统失衡,造成两岸胡杨、红柳(*Tamarix* spp.)林成片枯死<sup>[27]</sup>,严重影响了胡杨活体大树生长恢复以及萌蘖更新。因此,未来必须科学管理、统筹兼顾疏勒河流域水资源,提高水资源利用率,改变目前仍然存在的大水漫灌的传统用水方式。尽量向下游实施放水,为胡杨种子萌发创造条件,保证胡杨幼苗成长。同时,加强人工育苗,增加胡杨种子的发育和繁殖,促进研究区胡杨林的更新和复壮。

4)需要加强胡杨林的保护和科学管理。研究区胡杨林正趋于衰退演替,虽然研究区已是国家级自然保护区,但环境条件艰苦,保护建设经费有限,科研管理人才不足,需要多渠道增加资金投入,加大保护力度。需要加强环保宣传教育,增强当地群众的保护意识。协调好保护和利用之间的关系;协调好发展自然保护区原生态旅游与保护胡杨林等生物多样性和生态环境保护间的关系,促进研究区胡杨林的保护与恢复。

致谢 感谢研究生霍华丽、张克新、张锐和安建科参与野外调查。对甘肃敦煌西湖国家级自然保护区管理局局长吴三雄、科长袁海峰和后坑保护站站长常斐、王志广及其相关工作人员在调查中给予的大力协作与支持,特表诚挚谢意!

#### 参 考 文 献

- [1] 魏庆营.胡杨 [M].北京:中国林业出版社,1990:1—17.
- [2] 戴小华,余世孝.GIS支持下的种群分布格局分析 [J].中山大学学报(自然科学版) 2003 A2(1):75—78.
- [3] 杨丽.天然胡杨树体水分输移关系与影响因子研究 [D].呼和浩特:内蒙古农业大学 2006.
- [4] 袁书艳,胡青,陈雪梅,等.茉莉酸在胡杨细胞耐盐性中的作用 [J].北京林业大学学报 2002 24(3):66—69.
- [5] 冯起,司建华,李建林,等.胡杨根系分布特征与根系吸水模型建立 [J].地球科学进展 2008 23(7):765—772.
- [6] 陈亚宁,陈亚鹏,李卫红.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 A8(9):958—961.
- [7] 司建华,常宗强,苏永红,等.胡杨叶片气孔导度特征及其对环境因子的响应 [J].西北植物学报 2008 28(1):125—130.
- [8] 丁霞,陈晓阳,李云.胡杨叶片不定芽再生体系的研究 [J].北京林业大学学报 2003 25(2):28—31.
- [9] 刘普幸,陈发虎,斯立亚,等.额济纳旗近100年来胡杨年表的建立与响应分析 [J].中国沙漠 2005 25(5):764—768.
- [10] 孙军艳,刘禹,蔡秋芳,等.额济纳233年来胡杨树轮年表的建立及其所记录的气象、水文变化 [J].第四纪研究,2006,26(5):799—807.
- [11] 黄培佑.塔里木盆地胡杨分布区的消退和林地更新复壮的初步研究 [J].植物生态学与地植物学学报,1986,10(4):302—309.
- [12] 高润宏,董智,张昊,等.额济纳绿洲胡杨林更新及群落生物多样性动态 [J].生态学报 2005 25(5):1019—1025.
- [13] 赵万羽,陈亚宁,周洪华,等.塔里木河下游生态输水后衰败胡杨林更新能力与条件分析 [J].中国沙漠,2009,29(1):108—113.
- [14] 陈亚宁,李卫红,徐海亮,等.塔里木河下游地下水位对植被的影响 [J].地理学报 2003 58(4):542—549.
- [15] 韩路,王海珍,周正立,等.塔里木河上、中游胡杨种群结构与统计分析 [J].生态学报 2007 27(4):1315—1322.
- [16] 张绘芳,李霞.塔里木河下游胡杨种群空间分布格局分析 [J].西北植物学报 2006 26(10):2125—2130.
- [17] 韩路,王海珍,彭杰,等.不同生境胡杨种群径级结构与格局动态研究 [J].北京林业大学学报 2010 32(1):7—12.
- [18] 李军,张秋良,高润宏,等.额济纳绿洲胡杨种群结构与分布格局研究 [J].干旱区资源与环境 2008 22(2):187—190.
- [19] 赖江山,张谧,谢宗强.三峡库区常绿阔叶林优势种群的结构和格局动态 [J].生态学报 2006 26(4):1073—1079.
- [20] 王新功,洪伟,吴承祯.武夷山米槠林群落优势种群空间格局的研究 [J].河南农业大学学报 2003 37(1):44—48.
- [21] 上官铁梁,张峰.山西绵山植被优势种群的分布格局与种间联结的研究 [J].武汉植物学研究,1988,6(4):357—364.
- [22] 张金屯.数量生态学 [M].北京:科学出版社 2004:243—254.
- [23] 宋萍,洪伟,吴承祯,等.珍稀濒危植物桫椤种群结构与动态研究 [J].应用生态学报 2005,16(3):413—418.
- [24] 王志泰,包玉,李毅.东祁连山高寒草地柳灌丛群落种间关联性 [J].生态学杂志 2006 25(10):1177—1180.
- [25] 黄培佑.胡杨林的衰退及林地更新复壮的探讨——塔里木盆地荒漠化的一个对策 [J].新疆大学学报(自然科学版),1984,3(2):97—104.
- [26] 郭华,王孝安,肖娅萍.秦岭太白红杉种群空间分布格局动态及分形特征研究 [J].应用生态学报 2005,16(2):227—232.
- [27] 刘道发,宁瑞株.甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区 [M].北京:中国林业出版社,1998:23—26.

(责任编辑 赵 勃)