

塔里木河中游不同生境胡杨种群的结构特征分析

王夏楠¹, 王亮¹, 吕瑞恒^{1,2}, 梁继业^{1,2}, 周正立^{1,2*}

(1. 新疆生产建设兵团 塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室,新疆 阿拉尔 843300;

2. 新疆塔里木大学 植物科学学院,新疆 阿拉尔 843300)

摘要:应用“相邻格子法”对塔里木河中游不同生境胡杨种群进行调查,研究不同生境胡杨种群径级结构和空间分布格局。结果表明:1)不同生境下胡杨径阶结构不同,河漫滩生境胡杨幼苗充足,为增长型种群;过渡地带各径阶分布合理,为稳定型种群;而沙地生境径阶 ≤ 16 cm 的胡杨种群未出现,为衰退型种群。2)河漫滩以及过渡地带生境胡杨种群在 5 种空间尺度下均处于集群分布;沙地生境总体为随机分布。3 种生境下胡杨种群均在 5 m \times 5 m 的尺度有较强的聚集性。3)河漫滩、过渡带生境下各个发育阶段均为集群分布,沙地生境随着发育进程,空间分布由聚集分布向随机分布转化。

关键词:胡杨;生境;径级结构;分布格局

中图分类号:S718.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2014)05-0001-06

Population Structure Characteristics of *Populus euphratica* in Different Habitats
of the Tarim River Middle Reaches

WAND Xia-nan¹, WANG Liang¹, LU Rui-heng^{1,2}, LIANG Ji-ye^{1,2}, ZHOU Zheng-li^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, Xinjiang Production & Construction Corps, Alar, Xinjiang 843300, China; 2. College of Plant Science and Technology, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China)

Abstract: An investigation was carried out on *Populus euphratica* populations occurring in different habitats in the middle reaches of Tarim River by applying "adjacent lattice method" to understand the size class structure and distribution patterns. The results showed that: 1) class structures were different among populations in different habitats. Adequate seedlings were found in floodplain habitat, belonging to growing population. In the transitional habitat, the size classes were reasonable, belonging to stable population. In sandy habitat, seedlings with the diameter of less than 16 cm were not found, belongs to declining type. 2) Poplar populations in floodplain and transitional habitats were in cluster distribution pattern in five kinds of spatial scales, it was in a random distribution for those in sandy habitat. In the scale of the 5 m \times 5 m, the poplar populations demonstrated strong concentrated characteristics. 3) The spatial distributions were clumped distribution in floodplain and transitional habitats. The populations changed from clumped to random pattern during their growth in sandy habitat.

Key words: *Populus euphratica*; habitat; size class structure; distribution pattern

植物种群结构与格局作为种群生态学研究的重要内容,是指种群内处于不同发育期的个体组成和分布格局,不仅可以反映种群内不同年龄个体的组

分配情况,也反映了种群数量动态及其发展趋势。种群的格局会受到各种内外因素综合作用形成不同的空间分布,不但因种而异,而且同一种在不同发育

收稿日期:2013-12-26 修回日期:2014-01-28

基金项目:“973”计划前期研究专项(2012CB723204);“973”计划前期研究专项(2011CB411909);国家自然科学基金(31360109)。

作者简介:王夏楠,女,在读硕士,研究方向:森林生态。E-mail:cswxn@126.com

*通信作者:周正立,男,副教授,硕士,研究方向:干旱区植物多样性保育。E-mail:zzlzytd@163.com

阶段、不同的生境条件也有明显的差别^[1-2],研究种群的结构特征不仅是对种群的水平结构进行定量描述,而且可以揭示格局成因,阐述种群及群落的动态变化等,也可为保护措施的制定提供一定的科学依据^[3-4]。

胡杨(*Populus euphratica*)作为杨柳科杨属中最古老、最原始的木本植物,具有耐盐碱、耐贫瘠、抗风沙、阻沙能力强等特性,是新疆塔里木河流域主要的优势树种和珍贵的抗逆种质资源,对南疆地区遏制沙化、维护区域生态平衡和保障绿洲农牧业生产起着至关重要的作用。近年来,众多学者对胡杨生物学特性^[5]、种群繁殖特性^[6]、种群生理生态^[7]等方面做了大量研究,但是由于受到河道变迁和人为因素的影响,胡杨种群形成不同的变化趋势,为此,以塔里木河中游3种生境条件下胡杨种群为研究对象,分析比较其径阶分布状况、时空格局变化,旨在揭示种群动态变化过程,阐明种群更新以及群落演替规律,为胡杨种群保护和荒漠河岸植被的恢复提供理论参考。

1 研究区概况

塔里木河位于新疆南部,自西向东绕塔克拉玛干沙漠北缘贯穿于塔里木盆地。塔里木河流域气候干旱少雨,冬季严寒,昼夜温差大,为典型的大陆性气候。调查地点位于塔里木河中游轮台县轮南镇(84°20'1.1"E, 41°10'58.2"N),海拔912 m,该地区年平均气温10.9°C,年平均日均差14.6°C,≥10°C积温4 125.3°C,无霜期180~224 d,年平均降水量65.5 mm,年平均蒸发量2 024 mm,平均风速1.8

m/s^[8]。

近50 a来,不合理的水土资源开发造成塔里木河中下游的生态环境退化极其严重^[9],该地区草本植物主要有芦苇(*Phragmites communis*)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)等,灌木主要以多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)为主,胡杨是该地区乔木层主要建群种,它们共同构成了塔里木河中游荒漠河岸群落。

2 研究方法

2.1 样地设置

在塔里木河中游地区(轮台县轮南镇)垂直于河岸设置调查样方21个,同时在每个样方中设置剖面,测定其0~100 cm土壤含水量(以20 cm为一层,分层取样,总体求均值)、地下水位。将塔里木河地下水位设为0 m,以塔里木河为边界,利用调查样点数据,分别对研究区南北河岸带的地下水位利用普通Kring方法插值,得到研究区地下水位、0~100 cm土壤含水量平面示意图(图1),依据植被群落外貌的变化,结合地下水位的变化,划分为河漫滩、过渡地带、沙地3种生境,各生境胡杨群落基本状况见表1。

2.2 乔灌草调查

在所设置的样方内,采用相邻格子法进行每木调查,以5 m×5 m为基本单元记录胸径(DBH)≥2.5 cm的全部乔木树种的胸径、树高。在进行胡杨幼苗(DBH<2.5 cm)统计时,只记录株数、株高以及冠幅。

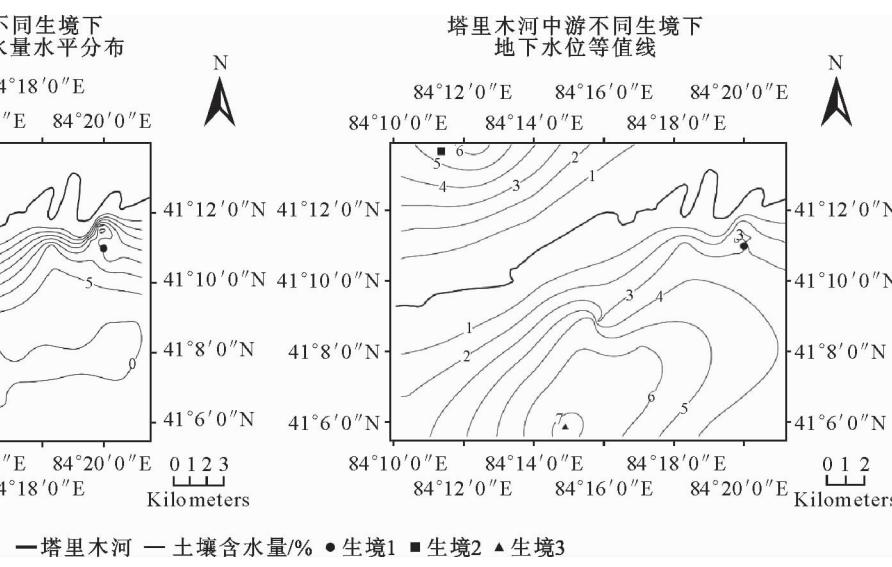


图1 3种生境条件下土壤含水量、地下水位平面分布

Fig. 1 The plane distributions of ground water levels and soil water contents in the three kinds of habitats

表1 不同生境条件下胡杨群落基本状况

Table 1 The basic situations of *P. euphratica* populations in different habitats

生境	胡杨活立木				胡杨枯死木		灌草层 优势种	地下水位 /m	面积 /m ²			
	成熟木		更新苗		密度 (株·hm ⁻²)	胸径 /cm						
	密度 (株·hm ⁻²)	胸径 /cm	密度 (株·hm ⁻²)	胸径 /cm								
河漫滩 (生境Ⅰ)	844	14.21	2257	/	141	6.69	多枝柽柳+胀果 甘草+花花柴	<3	5400			
过渡地带 (生境Ⅱ)	282	25.89	123	0.74	3	28	多枝柽柳+胀果 甘草	3~5.5	4000			
沙地 (生境Ⅲ)	64	34.96	/	/	/	/	多枝柽柳	≥6	2500			

对灌木层、草本层进行调查时,灌木层样方大小5 m×5 m,草本层样方大小1 m×1 m,调查内容包括植物种类、高度、盖度和多度等。

2.3 数据处理

2.3.1 胡杨种群的内部划分标准 依据胸径来判定胡杨结构, $DBH < 2.5$ cm 胡杨按幼苗来统计,不计入胡杨成熟林,枯死木只统计其胸径、数量。

径阶结构划分方法:将胡杨树种的胸径按4 cm径阶整化,统计不同生境在各径阶的数量,以径阶为横轴,该径阶在其生境下密度的LN值为纵轴,做出胡杨种群径级分布图。

2.3.2 胡杨种群空间格局分析 本研究采用相邻格子法对胡杨种群进行格局分析,依据不同尺度(5 m×5 m、5 m×10 m、10 m×10 m、10 m×15 m、15 m×15 m)进行胡杨种群空间分布格局的分析。

格局分析指标包括:扩散系数 $C(S^2/\bar{x})^{[10]}$, 样本观测值对泊松分布的偏离程度采用t检验确定;种群聚集强度采用Lloyd平均拥挤度(m^*)、聚块性指数(m^*/\bar{x})和Morisita指数(I_δ)进行判定,具体计算公式参照赖江山、马钦彦^[11-12]的方法。

2.3.3 胡杨种群发育格局分析 参照国内惯用的发育阶段分析方法,将胡杨种群按幼树($DBH < 2.5$ cm)、小树($2.5 \text{ cm} \leq DBH < 7.5 \text{ cm}$)、中树($7.5 \text{ cm} \leq DBH < 22.5 \text{ cm}$)、大树($DBH \geq 22.5 \text{ cm}$)4级的划分标准进行处理,然后按照上述方法进行不同发育阶段种群分布格局分析。

3 结果与分析

3.1 不同生境条件下胡杨种群的数量与径阶结构

根据胡杨种群的内部划分标准,统计3种不同生境下胡杨活立木、枯死木及幼苗的基本情况(表1),结合不同生境下胡杨径阶分布分析(图2),结果表明,在河漫滩生境下,胡杨幼苗的数量占胡杨种群的70.17%,4 cm径阶以下胡杨数量占种群的81.03%,说明胡杨种群的幼苗充足。随着胸径的增

大,胡杨种群的数量逐渐减少,整体表现为增长型种群。由于受到季节性洪水的漫灌和引洪措施的影响,胡杨种群幼苗数量充足,水分不再是该区域植物生长的限制因子。同时,由于胡杨自身的生殖策略,种子成熟期与洪水期相吻合,使得大量种子得以迅速萌发,因此河漫滩更新苗充足且呈聚集分布,这与徐海量^[13-14]等的研究结论相一致;由于环境条件的变化,过渡地带生境内大树的数量占总数的69.12%,结合他人^[15-17]研究地下水位在3~6 m之间,为胡杨生长的合理水位,所有环境条件都有利于种群的发展(地下水位合理、养分充足等),成熟木、幼苗以及枯死木均有分布,因此该生境条件种群各径级分布均匀,发展较为稳定,属于稳定型种群;沙地生境下2~16 cm径阶胡杨种群数量为0,缺乏中幼林龄阶段种群数量分布,因此该生境条件下胡杨属于衰退型种群。由于环境条件的恶化,水分逐渐成为种群发展的限制因子,胡杨为了满足自身对水分、养分的需求,进行随机的分布方式,进而获得更大的空间以及资源来维持其生存和发展^[18]。胡杨没有更新幼苗,成熟、过熟木占绝对优势,天然更新能力很弱,种群结构整体呈现老化,个体稀少且整体呈随机分布。如不加以改善,该生境下胡杨种群将走向灭亡。

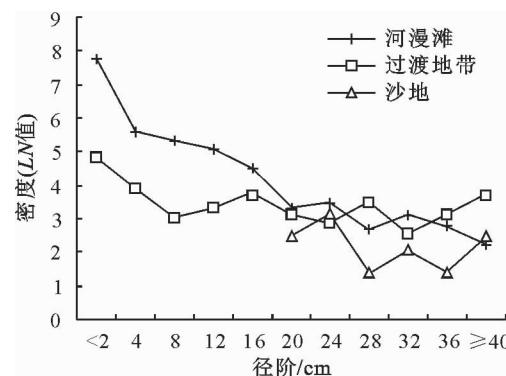


图2 不同生境条件下胡杨种群在各径阶的分布

Fig. 2 Class structure of *P. euphratica* populations in different habitats

3.2 不同生境条件下不同尺度之间胡杨种群的分布格局差异

采用较能准确反映种群分布格局的相邻格子法,对5种不同尺度下胡杨种群的分布格局进行分析,并进行格局检验的判别。由表2可知,3种不同生境条件下胡杨种群在不同尺度的扩散系数C均 >1 ,且 $T>T_{0.05}$ 随着尺度的增大,Morisita指数逐

渐减小。结合所有指数,说明河漫滩以及过渡带生境胡杨种群在各个尺度均为集群分布。沙地生境下 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 、 $5\text{ m}\times 10\text{ m}$ 、 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 尺度下为聚集分布,其余均为随机分布。3种生境条件下胡杨种群在 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 尺度表现出聚集性最强。胡杨种群随着生境的改变,分布格局总体上是从集群→随机,显示出扩散的趋势。

表2 不同尺度下胡杨的分布格局

Table 2 Spatial distribution patterns of *P. euphratica* populations in different scales

生境	尺度 $(\text{m}\times\text{m})$	样方数	扩散系数 C	T 值	$T_{0.05,n-1}$	平均拥挤度 m^*	Morisita 指数			分布型
							I_δ	F	$F_{0.05}$	
河漫滩	5×5	216	11.10	104.76	1.98	18.24	2.24	11.12	1.20	C
	5×10	108	21.09	146.98	1.98	36.14	2.24	21.14	1.28	C
	10×10	54	31.42	156.61	2.01	62.98	1.92	31.50	1.43	C
	10×15	36	47.24	193.42	2.02	95.07	1.92	47.35	1.56	C
	15×15	24	26.76	87.36	2.07	99.01	1.34	26.88	1.72	C
	5×5	160	2.45	12.90	1.98	2.40	2.52	2.48	1.24	C
过渡地带	5×10	80	3.57	16.14	1.99	4.46	2.35	3.63	1.35	C
	10×10	40	4.74	16.53	2.02	7.44	1.99	4.85	1.53	C
	10×15	26	4.93	13.89	2.06	9.47	1.69	5.06	1.68	C
	15×15	17	4.65	10.33	2.12	12.06	1.41	4.83	1.90	C
沙地	5×5	100	1.73	5.15	1.99	0.89	5.83	1.85	1.29	C
	5×10	50	2.10	5.43	2.01	1.42	4.58	2.28	1.44	C
	10×10	25	3.37	8.21	2.06	3.01	4.79	3.77	1.7	C
	10×15	16	0.80	0.55	2.13	0.80	0.80	0.91	1.93	R
	15×15	11	0.33	1.51	2.23	0.78	0.55	0.44	2.25	R

注:C为集群分布,R为随机分布。

3.3 不同生境下不同发育阶段胡杨种群的空间格局变化

植物种群在不同的年龄段会表现出不同的空间分布格局,这种格局的变化反映了新生个体的产生、成年个体的死亡和人为干扰等。为进一步分析胡杨种群分布格局,采用空间差异替代时间变化来研究胡杨种群分布格局动态(表3)。河漫滩和过渡地带生境生存的胡杨种群在各个发育阶段均呈聚集分布,但随着发育进程的推进其聚集强度迅速降低,至大树阶段聚集度降到最低。说明胡杨种群随着发育过程,分布格局具有由集群分布向随机分布过渡的特点。沙地生境生存的胡杨种群在中树阶段具有较强的聚集度,但发展至大树阶段空间格局转变为明显的随机分布。故从幼树→大树的时间序列上看,胡杨种群分布格局是从集群分布至随机分布,显示出扩散的趋势。这与胡杨树自身的生物学、生态学特性以及林分生境都有一定的关系^[19]。胡杨幼苗基本上聚集在中树或大树周围,所以低树龄阶段多呈集群分布。由于种群对不良环境比单独个体有较大的抗性,因此集群分布对胡杨树幼苗的生长是有利的^[20]。随着植株个体的发育,其对外界环境的条件需求增加,种内、种间竞争加剧,具体表现为对土

壤养分、水分等的竞争,这会造成种群数量减少,其结果是产生随机扩散,继而形成随机的分布格局。这与李军^[21]等对额济纳胡杨种群的分布格局进行研究的结论相一致。这种变化是种内和种间竞争以及种群与生境相互作用的结果,反映了种群的一种生态适应机制^[22-23]。

4 结论与讨论

河漫滩生境下胡杨幼苗充足,随着胸径的增大,胡杨种群的数量逐渐越少,表明在河漫滩地胡杨种群更新良好,整体表现为增长型种群。而过渡地带胡杨种群在各径阶的分布合理,属于稳定型种群。沙地生境下径阶 $\leqslant 16\text{ cm}$ 的胡杨种群数量为0,缺乏中幼林龄阶段种群数量分布,因此该生境条件下胡杨属于衰退型种群。总体来说,随着林龄的增大,胡杨种群整体表现出由聚集分布向随机分布进行转化的趋势。

由空间分布格局分析得出:河漫滩以及过渡地带生境胡杨种群在5种空间尺度下均处于集群分布,沙地生境总体为随机分布。总体来看,3种生境下胡杨种群均在 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 的尺度拥有较强的聚集性。

表3 不同生境胡杨种群不同发育阶段的分布格局动态

Table 3 Dynamics of distribution patterns of *P. euphratica* populations at different developmental stages in different habitats

生境	发育阶段	样方数	扩散系数 C	T 值	平均拥挤度 m^*	聚块性指数 m^*/m	Morisita 指数			分布型
							I_δ	F	$F_{0.05}$	
河漫滩	幼树	216	15.47	150.03	20.26	3.50	3.49	15.50	1.20	C
	小树	216	2.25	12.91	2.16	2.36	2.36	2.27	1.20	C
	中树	216	1.67	6.90	1.67	1.67	1.67	1.68	1.20	C
	大树	216	1.20	2.07	0.42	1.90	1.91	1.22	1.20	C
过渡带	幼树	160	2.06	9.48	1.31	5.25	5.33	2.13	1.24	C
	小树	160	2.17	10.47	1.37	7.06	7.23	2.27	1.24	C
	中树	160	1.46	4.11	0.72	2.76	2.79	1.50	1.24	C
	大树	160	1.89	7.93	1.20	3.90	3.95	1.94	1.24	C
沙地	中树	100	1.96	6.75	1.02	16.99	20.00	2.36	1.29	C
	大树	100	0.91	0.64	0.01	0.09	0.00	0.91	1.29	R

注:沙地中未出现幼树、小树,在此不作统计;C为集群分布,R为随机分布; $T_{0.05,215}=1.98$, $T_{0.05,159}=1.98$, $T_{0.05,99}=1.99$ 。

不同发育阶段胡杨种群表现为不同的格局类型:集群或随机分布。集群分布一般发生在幼苗多、成体少的增长型或稳定型种群中;随机分布则发生在以成体植株为主的衰退型的种群中。从种群分布格局动态来看,胡杨种群具有一定的扩散性。在其生长过程中,分布格局从集群型向随机型转变,幼苗呈集群分布,而大株呈随机分布,这种变化是种内和种间竞争以及种群与生境相互作用的结果,反映了种群的一种适应机制。

参考文献:

- [1] 袁春明,孟广涛,方向京,等.珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布[J].生态学报,2012(32):3866-3872.
YUAN C M, MENG G T, FANG X J, et al. Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant *Alcimandra cathcartii* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(12): 3866-3872. (in Chinese)
- [2] 李明辉,何风华,刘云,等.天山云杉种群空间格局与动态[J].生态学报,2005,25(5):1000-1006.
LI M H, HE F H, LIU Y, et al. Spatial distribution pattern of tree individuals in the Schrenk spruce forest, Northwest China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1000-1006. (in Chinese)
- [3] 李尝君,吕光辉,贡璐.艾比湖湿地自然保护区克隆植物群落空间格局及其对水盐胁迫的响应[J].干旱区研究,2013(30):122-128.
LI C J, LV G H, GONG L. Spatial point pattern and response of clonal plant communities to high drought and salt stress in the Ebinur lake wetland nature reserve, Xinjiang, China [J]. *Arid Zone Research*, 2013(30): 122-128. (in Chinese)
- [4] 杨慧,娄安如,高益军,等.北京东灵山地区白桦种群生活史特征与空间分布格局[J].植物生态学报,2007,31(2):272-282.
YANG H, LOU A R, GAO Y J, et al. Life history characteristics and spatial distribution of the *Betula platyphylla* population in the dangling mountain region, Beijing, China [J]. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 2007, 31(2): 272-282. (in Chinese)
- [5] 杨永青,王文祺,Erio A Ottow,等.干旱胁迫下胡杨生理适应机制的研究[J].北京林业大学学报,2006,28(Supp. 2):6-10.
YANG Y Q, WANG W Q, ERIO A O, et al. Physiological adapting mechanism of *Populus euphratica* under drought stress [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28 (Supp. 2): 6-11. (in Chinese)
- [6] 李志军,焦培培,周正立,等.胡杨横走侧根及不定芽发生的形态解剖学研究[J].北京林业大学学报,2011,33(5):42-48.
LI Z J, JIAO P P, ZHOU Z L, et al. Anatomic characteristics of transverse lateral roots and adventitious buds of *Populus euphratica* [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2011, 33 (5): 42-48. (in Chinese)
- [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):0125-0130.
SI J H, CHANG Z Q, SU Y H, et al. Stomatal conductance characteristics of *Populus euphratica* leaves and response to environmental factors in the extreme arid region [J]. *Acta Bot. Borealis*, 2008, 28(1): 0125-0130. (in Chinese)
- [8] 刘晏良,焦广辉,戴键,等.塔里木河中下游实地调查报告[M].北京:中国统计出版社,2000.
- [9] 徐海量,陈亚宁,杨戈.塔里木河下游生态输水对植被和地下水位的影响[J].环境科学,2003,24(4):18-22.
XU H L, CHEN Y N, YANG G. Effect of translating water on vegetation at the lower reaches of Tarim River [J]. *Environmental Science*, 2003, 24(4): 18-22. (in Chinese)
- [10] 刘建泉,祁连山保护区青海云杉种群分布格局的研究[J].西北林学院学报,2004,19(2):152-155.
LIU J Q. Spatial pattern of *Picea crassifolia* population in Qilianshan nature conservation [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2004, 19(2): 152-155. (in Chinese)
- [11] 赖江山,张溢,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.
LAI J S, ZHANG M, XIE Z Q. Structure and distribution pattern of dominant populations in the evergreen broad leaved forest in three gorges reservoir area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1073-1079. (in Chinese)
- [12] 马钦彦.负二项式分布及种群格局检验分析[J].北京林业大学学报,2009,31(3):1-5.
MA Q Y. Analysis of the negative binomial distribution and

- test of population pattern [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(3) 1-5. (in Chinese)
- [13] XU H L, MAO Y, LI J M. The ecological characteristics of the riparian vegetation affected by river overflowing disturbance in the lower Tarim River[J]. Environ Geol., 2009, 58: 1749-1755.
- [14] 张青青, 徐海量, 安红燕, 等. 塔里木河下游河水漫溢后胡杨幼苗分布格局初探[J]. 西北植物学报, 2011, 31(11): 2298-2303.
- ZHANG Q Q, XU H L, AN H Y, et al. Distribution patterns of *Populus euphratica* seedlings after river overflowing in the lower reaches of Tarim River[J]. Acta Bot. Boreal-Ocidentalia Sinica, 2011, 31(11):2298-2303. (in Chinese)
- [15] 郝兴明, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河中下游荒漠河岸林植被对地下水埋深变化的响应[J]. 地理学报, 2008, 63(11): 1123-1130.
- HAO X M, CHEN Y N, LI W H, et al. Response of desert riparian forest vegetation to groundwater depth changes in the middle and lower Tarim River [J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(11):1123-1130. (in Chinese)
- [16] MA X D, CHEN Y N, ZHU C G, et al. The variation in soil moisture and the appropriate groundwater table for desert riparian forest along the lower Tarim River[J]. J. Geogr. Sci., 2011, 21(1): 150-162.
- [17] HAO X M, LI W H, HUANG X, et al . Assessment of the groundwater threshold of desert riparian forest vegetation along the middle and lower reaches of the Tarim River, China [J]. Hydrol. Process, 2010,24:178-186.
- [18] 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.
- SONG P, HONG W, WU C Z, et al. Population structure and its dynamics of rare and endangered plant *alsophila spinu-*losa [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(3): 413-418. (in Chinese)
- [19] ANDREW P, RAYBURN • KATJA SCHIFFERS • EUGENE W, SCHUPP. Use of precise spatial data for describing spatial patterns and plant interactions in a diverse Great Basin shrub community[J]. Plant Ecol., 2011, 212:585-594.
- [20] BIRTE E W, PETERSTOLL, TEJATSC, et al. Spatial aggregation facilitates coexistence and diversity of wild plant species in field margins, Perspectives in Plant Ecology[J]. Evolution and Systematics ,2009(11): 127-135.
- [21] 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.
- LI J, ZHANG Q L, GAO R H, et al. Study on the population structure and distribution pattern of *Populus euphratica* populations in EjinaOasis [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2008,22(2):187-190. (in Chinese)
- [22] 向悟生, 李先琨, 苏宗明, 等. 元宝山南方红豆杉克隆种群分布格局的分形特征[J]. 植物生态学报, 2007, 31(4) 568-575.
- XIANG W S, LI X K, SU Z M, et al. Fractal properties of distribution patterns of *Taxus chinensis* var. *mairei* clonal populations in the Yuanbaoshan mountain,China [J]. Journal of Plant Ecology,2007, 31(4)568-575. (in Chinese)
- [23] 闫东峰, 王亚南, 杨喜田, 等. 宝天曼栎类天然次生林主要树木种群结构及空间分布格局[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(3):155-159.
- YAN D F, WANG Y N, YANG X T, et al. Structure and spatial distribution patterns of the main woody plant populations of oak natural secondary forests in baotianman nature reserve, Henan province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012,27(3):155-159. (in Chinese)