

# 和田河不同生境灰胡杨种群结构特征及竞争关系分析

周禧琳<sup>1,2</sup>, 吕瑞恒<sup>1,2\*</sup>, 韩路<sup>1,2</sup>, 袁林<sup>1</sup>

(1. 新疆塔里木大学 植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300;  
2. 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)

**摘要:**分析比较不同生境条件下灰胡杨种群结构、空间分布格局及种内竞争关系,为和田河上游灰胡杨种群的保护和恢复提供理论参考。在和田河上游依据生境不同,设置灰胡杨群落样方,大小分别为 0.5 hm<sup>2</sup>(生境Ⅰ)、1.5 hm<sup>2</sup>(生境Ⅱ),采用相邻格子法调查分析灰胡杨种群。结果表明:1) 生境Ⅰ 8、12 cm 径阶范围灰胡杨种群数量分布较多,分别占总株数的 33.25%、46.55%,幼苗、幼树缺乏。生境Ⅱ 种群数量在 4 cm 径阶分布最多,而在 <2 cm 径阶范围分布最少,种群数量分布不合理,处于衰退种群。2) 生境Ⅰ 灰胡杨种群在 0~1.8 m 尺度呈集群分布,而在 >1.8 m 尺度条件下表现为随机分布。生境Ⅱ 在 0~42 m 范围内呈集群分布,42~48 m 范围内为随机分布,随着尺度逐渐增大,表现出向均匀分布转化的趋势。3) 生境Ⅰ 灰胡杨种群随着对象木胸径增大,平均竞争指数呈逐渐减小的趋势,而生境Ⅱ 则表现出先增大后减小的趋势。4) 生境Ⅰ 灰胡杨种群对象木胸径与竞争强度之间服从幂函数关系,生境Ⅱ 服从指数函数关系。通过函数模拟预测,生境Ⅰ 灰胡杨胸径达到 10 cm 后,种内竞争强度趋于稳定,而生境Ⅱ 各径阶之间竞争强度变幅不大。受生境的影响,灰胡杨种群结构特征及竞争关系有较大差异,生境Ⅰ 灰胡杨胸径 ≤10 cm 时,需进行人工抚育管理,生境Ⅱ 灰胡杨种群则需尽快采取生态输水等人工措施促进灰胡杨更新复壮,保证种群结构的稳定性。

**关键词:**生境;灰胡杨;种群结构;种内竞争

**中图分类号:**S792.11      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2018)01-0043-06

## Population Structure and Intraspecific Competition of *Populus pruinosa* in Different Habits along the Up Reaches of Hotan River

ZHOU Xi-lin<sup>1,2</sup>, LYU Rui-heng<sup>1,2\*</sup>, HAN Lu<sup>1,2</sup>, YUAN Lin<sup>1</sup>

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

**Abstract:** In order to provide a theoretical reference for population protection and restoration of *Populus pruinosa*, population structure, distribution pattern and intraspecific competitive relationships of *P. pruinosa* were analyzed and compared among different habitats. Using the methods of wild community investigation, the *P. pruinosa* community plots were established according to the habits difference in the up reaches of Hotan River, the plot areas were 0.5 hm<sup>2</sup> (habit I) and 1.5 hm<sup>2</sup> (habit II), respectively. The results were as follows. 1) The number of *P. pruinosa* population was the highest among those with diameter ranged 8, and 12 cm habit I, which accounted for 33.25% and 46.55%, respectively. Seedlings and saplings in habits

收稿日期:2017-04-04    修回日期:2017-06-10

基金项目:国家自然科学基金(31360109);新疆生产建设兵团科技局博士点基金(2011BB021);新疆生产建设兵团科技局重点实验室与区域创新平台建设计划(2016BB007)。

作者简介:周禧琳,男,讲师,硕士,研究方向:荒漠植物及保护利用。E-mail:zxlykytd@163.com

\*通信作者:吕瑞恒,男,副教授,研究方向:荒漠植被恢复和保护。E-mail:lvrh514723@126.com

I were rarely observed. In habitat II, in the highest number was found in those with diameter 4 cm, the least population number was in less than 2 cm diameter grade range. The number of *P. pruinosa* population distributed unreasonably, the population was in declining stage in Habits II. 2) *P. pruinosa* population showed cluster distribution pattern in 1—1.8 m scales, the scales above 1.8 m was random distribution in habits I. The population showed cluster distribution pattern within 0—42 m random distribution pattern within 42—48 m range, with the scale increasing, it showed the trend to the uniform distribution in Habits II. 3) With the DBH increase of objective tree, the population competition index decreased gradually in Habits I, and showed first increasing and then decreasing trend in Habits II. 4) The relation between competition intensity and breast height diameter of objective tree nearly conformed to power function in habits I, but exponential function in habits II. The forecast by function simulation showed that intraspecific competition intensity was tending towards stability in habits I when the DBH reached 10 cm, and the wave range of competition intensity during various diameter grade was not too obvious in habits II. Structure characteristics and competitive relationship of *P. pruinosa* population had some differences affected by habitats. When the DBH of *P. pruinosa* was less than 10 cm, artificial tending management needed to be implemented in habits I. Some artificial measures such as ecological water transport was carried out as soon as possible for promoting regeneration and ensuring stability of *P. pruinosa* population in habits II.

**Key words:** habitats; *Populus pruinosa*; population structure; intraspecific competition

种群的数量与结构是种群最基本的特征,不仅可以研究当前种群状态,也可以分析过去和预测未来种群的动态,反映种群大小和个体年龄组配情况<sup>[1-2]</sup>。植物种群空间格局可揭示森林结构、动态及其生态学过程,有助于了解林木之间竞争关系,而竞争是基本的生态学过程,能够调节种群动态,个体存活、生长、共存,对群落物种多样性维持及物种更替具有重要的影响<sup>[3-5]</sup>。因此,种群数量、结构特征与种内、种间竞争之间存在密切的联系。

灰胡杨(*Populus pruinosa*)作为我国濒危植物种,主要分布于新疆南部,是荒漠植被主要优势种,对于区域环境改善和维持具有重大生态学意义。近年来,随着人类对干旱区水资源的不合理利用,导致灰胡杨种群呈现不同程度的衰退,加强灰胡杨的管护迫在眉睫。荒漠植被群落结构简单,群落生态环境易受干扰,众多学者在荒漠植被对干扰的响应方面做了大量的研究,主要涉及群落结构、繁殖特性、逆境生理特征等<sup>[6-8]</sup>,而对生境变化以后优势种群特征分析比较研究较少涉及。为此,本研究以和田河上游灰胡杨为对象,分析比较不同生境下灰胡杨种群数量结构特征及其种间竞争关系,为灰胡杨种群的保护和恢复提供理论参考。

## 1 研究区概况

研究区位于塔里木盆地西南缘,南接昆仑山,北连塔克拉玛干大沙漠,属暖温带极端干旱荒漠气候,光热资源丰富,昼夜温差大,降水稀少、蒸发强烈,无霜期长。年总辐射量为  $5.8 \times 10^5 \sim 6.3 \times 10^5$  J ·

cm<sup>-2</sup>,仅次于青藏高原;全年日照时数2 470~3 000 h,年平均日照百分率58%~60%,最高可达84%;年平均温度11.6℃,≥10℃积温4 200℃,无霜期170~201 d;年降水量13.1~48.2 mm,年蒸发量2 450~3 137 mm,干燥度>20;四季多风沙,每年浮尘天气220 d以上,其中浓浮尘(沙尘暴)天气在60 d左右。土壤类型沙壤土,森林群落结构简单,植物种类较为单一,主要有灰胡杨、胡杨(*P. euphratica*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)、芦苇(*Phragmites communis*)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)、黑果枸杞(*Lycium barbarum*)、盐穗木(*Halostachys caspica*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置与调查

2013年7月,在和田河上游地区,依据植被群落外貌和地下水位分别设置样地进行调查,面积分别为50 m×100 m(生境I)、100 m×150 m(生境II),在所设置样地内,采用相邻格子法进行每木检尺,以5 m×5 m为基本单元,记录胸径(DBH)≥2 cm的全部灰胡杨坐标、胸径、树高、冠幅。在进行灰胡杨DBH<2 cm统计时,记录坐标、地径与株高,灰胡杨群落具体状况见下表1。

同时,在2种生境下灰胡杨林群落下按照对角线分别设置3个土壤剖面,以20 cm为单位分层取样,各生境下土层土壤均匀混合进行分析,测定其土壤理化性质及土壤酶活性。分别将生境I、II土壤理化性质、土壤酶活性求5层土壤剖面的平均值,生

境Ⅰ、Ⅱ具体结果依次为容重 1.36、1.45 g·cm<sup>-3</sup>,含水率 5.69%、0.85%,全盐量 2.81、0.64 g·kg<sup>-1</sup>,pH 值 8.96、8.26,有机质 2.25、0.82 g·kg<sup>-1</sup>,全氮 0.92、0.81 g·kg<sup>-1</sup>,全磷 0.60、0.59 g·kg<sup>-1</sup>,全钾 9.48、6.04 g·kg<sup>-1</sup>,过氧化氢酶 0.87、0.24 mL·g<sup>-1</sup>,脲酶 2.17、1.41 mg·g<sup>-1</sup>,蔗糖酶 0.99、1.73 mg·g<sup>-1</sup>,碱性磷酸酶 27.15、22.16 mg·100 g<sup>-1</sup>,生境差异性分析见表 2。

表 1 不同生境群落灰胡杨群落状况

Table 1 The situation of *P. pruinosa* community in different habits

生境类型	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )		胸(地)径/cm		树高/m	冠幅/m		灌草主要优势种	海拔/m	地下水位/m
	<2	≥2	<2	≥2		东西	南北			
Ⅰ	2	840	1.6	10.92	4.85	2.23	2.26	芦苇+胀果甘草	1 198	1.51
Ⅱ	17	115	0.82	12.55	3.62	2.42	2.43	多枝怪柳+黑果枸杞+芦苇	1 203	3.48

备注:树高、冠幅指标均为≥2cm 灰胡杨测定指标平均值。

表 2 2 种生境条件下环境差异性分析

Table 2 Analysis on the environmental factors difference between two habitats in *P. pruinosa* communities

组间差异	均值	标准差	标准误	95%置信区间		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
				下限	上限			
Ⅰ - Ⅱ	1.27	2.06	0.57	0.028	2.52	2.23	12	0.046

2.2 种群结构分析

本研究结合所调查林分的平均胸径,按 4 cm 整化径阶划分立木大小级。其中,  $DBH<2\text{ cm}$  为 1 个径阶,  $DBH\geq 2\text{ cm}$  的植株每隔 4 cm 划为 1 级,例如胸径为  $2\text{ cm}\leq DBH<6\text{ cm}$  的植株径级为 4 cm,依此类推。按此标准统计各径级的植株个体数,然后以大小级为横坐标,植株个体数为纵坐标,绘制灰叶胡杨种群径级结构图。

2.3 空间格局分析方法

采用点格局分析方法中的单变量的  $g(r)$  函数分析灰叶胡杨种群分布空间格局,数据分析使用 Programita 软件完成。

2.4 对象木与竞争木的选择

依据 2 种生境中灰胡杨坐标值作为对象木选择标准,测定其半径范围 6 m 之内所有竞争木的距离<sup>[9]</sup>。生境Ⅰ灰胡杨对象木选择范围  $6\text{ m}\leq x$  坐标  $\leq 54\text{ m}$  且  $6\text{ m}\leq y$  坐标  $\leq 94\text{ m}$ ,生境Ⅱ灰胡杨对象木选择范围  $6\text{ m}\leq x$  坐标  $\leq 94\text{ m}$  且  $6\text{ m}\leq y$  坐标  $\leq 144\text{ m}$ ,将半径为 6 m 以内的所有灰胡杨活立木作为竞争木。以对象木为中心,采用单木竞争模型计算灰胡杨种内竞争强度<sup>[2]</sup>,对象木及竞争木选择概况见表 3。

灰叶胡杨种内竞争指数计算公式为:

$$CI=\sum_{j=1}^N(D_j/D_i)\times\frac{1}{L_{ij}}\tag{1}$$

式中,  $CI$  为竞争指数,  $D_j$  为竞争木胸径,  $D_i$  为对象木胸径,  $L_{ij}$  为对象木和竞争木之间的距离,  $N$  为竞争木的株数。  $CI$  值越大,对象木受到的竞争越剧烈。

2.5 数据分析与处理

运用 SPSS20.0 统计软件,针对 2 种生境下土

壤理化指标、土壤酶活性、地下水位等指标进行配对性  $T$  检验(表 2)。

3 结果与分析

3.1 2 种生境下灰胡杨种群径阶结构分析

由图 1 可以看出,2 种生境下灰胡杨种群径阶分布差异较大。生境Ⅰ条件下,8、12 cm 径阶灰胡杨种群数量分布较多,分别占总株数的 33.25%、46.55%,而分布最少区域为  $<2\text{ cm}$  径阶,仅占总数量的 0.24%,说明生境Ⅰ条件下灰胡杨幼苗、幼树缺乏,中壮林龄数量较多。生境Ⅱ条件下,灰胡杨种群数量分布在 4 cm 径阶分布最多,占总株数的 20.2%,而在  $<2\text{ cm}$  径阶范围分布最少,为 13.13%,其余各径阶种群数量变幅不大。

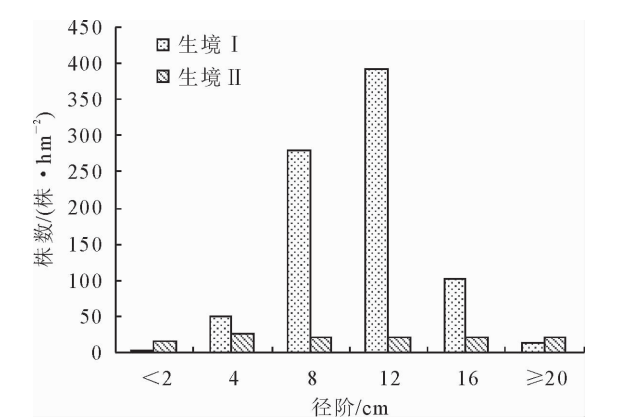


图 1 不同生境灰胡杨种群径阶分布

Fig. 1 Histogram of DBH classes of *P. pruinosa* in different habits

3.2 2 种生境下灰胡杨种群空间结构分析

2 种生境下灰胡杨种群点格局分析结果见图 2。生境Ⅰ条件下,灰胡杨种群在 0~1.8 m 尺度呈集群分

布,而在>1.8 m 尺度条件下表现为随机分布。生境Ⅱ条件下,灰胡杨种群在 0~42 m 范围内呈集群分布,而在 42~48 m 范围内为随机分布,随着尺度逐渐增大,>48 m 表现出向均匀分布转化的趋势。

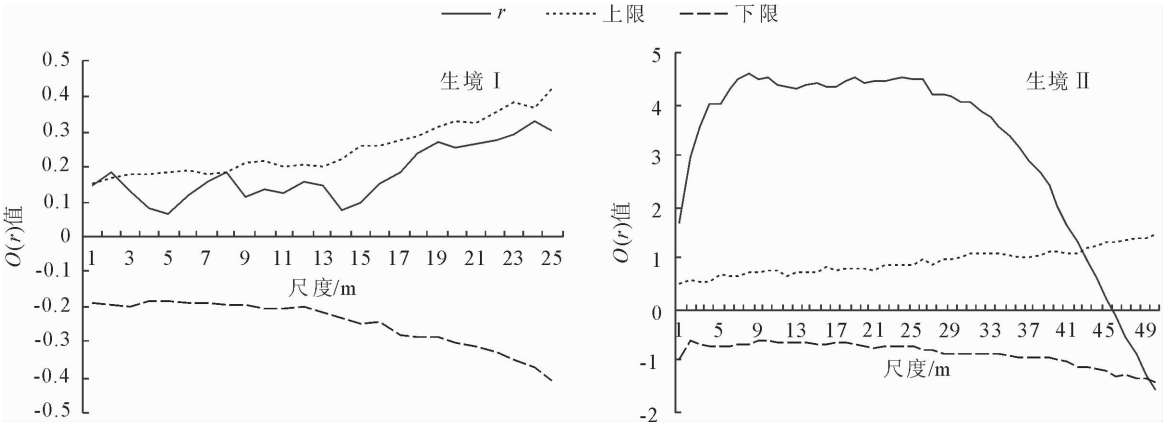


图 2 2 种生境下灰胡杨种群空间分布格局分析

Fig. 2 Spatial patterns of *P. pruinosa* population in different habits

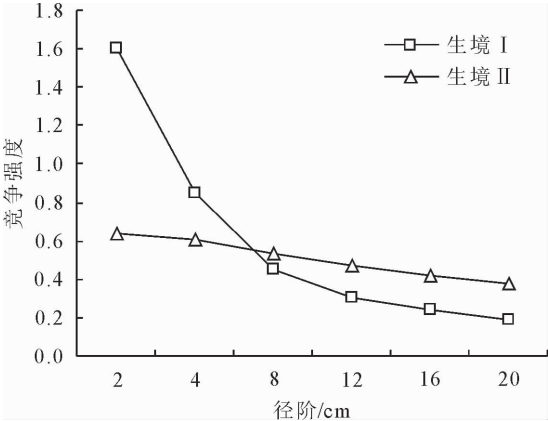


图 3 不同生境对象木胸径与种内竞争强度模型预测

Fig. 3 Model prediction between intraspecific competition intensities and DBH of objective trees in different habits

3.3 2 种生境下灰叶胡杨种内竞争关系分析

3.3.1 对象木与竞争木的特征 本研究在 2 种生境下分别选取对象木 342、174 株,竞争木分别共计 3 053、751 株(表 3)。生境Ⅰ对象木胸径范围 1.6~19.3 cm,6、12 cm 径阶对象木所占比例较大,占生境Ⅰ对象木总数量的 82.17%。生境Ⅱ对象木胸径范围为 0.3~65 cm,4 cm 径阶对象木数量比例最大为 33 株, $d<2$  cm、 $d\geq 20$  cm 径阶数量最小为 26 株,其他径阶之间对象木数量变幅不大。生境Ⅰ灰胡杨随着各径阶对象木胸径的增大,平均竞争指数呈逐渐减小的趋势。而生境Ⅱ在 4 cm 径阶竞争强度最大,整体表现出随着对象木胸径的增大,竞争指数均值呈现先增大后减小的趋势。

3.3.2 竞争强度与对象木胸径关系的拟合 通过

表 3 和田河上游灰胡杨种群对象木及竞争木的概况

Table 3 The status of objective tree and competitor of *P. pruinosa* population in the upper reaches of Hotan River

生境	径级/cm	对象木				竞争木				竞争指数均值
		株数	百分比/%	平均胸径/cm	平均树高/m	株数	百分比/%	平均胸径/cm	平均树高/m	
生境Ⅰ	$d<2$	1	0.29	1.6	3.01	12	0.39	9.92	4.47	1.58
	$2\leq d<6$	22	6.43	4.62	3.40	209	6.85	10.44	5.14	0.84
	$6\leq d<10$	115	33.63	8.59	4.19	1 006	32.98	10.59	5.06	0.43
	$10\leq d<14$	166	48.54	11.92	5.07	1 460	47.87	10.72	4.93	0.32
	$14\leq d<18$	32	9.36	15.47	5.99	317	10.39	12.18	5.33	0.28
	$d\geq 18$	6	1.75	18.88	7.29	49	1.61	11.36	4.91	0.26
	合计	342	100			3 053	100			
生境Ⅱ	$d<2$	26	14.94	0.77	0.95	102	13.58	1.77	1.11	0.61
	$2\leq d<6$	33	18.97	3.82	2.95	195	25.97	8.40	2.99	0.93
	$6\leq d<10$	31	17.82	8.02	3.74	132	17.58	11.40	3.65	0.79
	$10\leq d<14$	30	17.24	12.17	4.06	114	15.18	11.11	3.41	0.48
	$14\leq d<18$	28	16.09	15.11	4.72	115	15.31	11.98	4.08	0.39
	$d\geq 18$	26	14.94	26.07	4.61	93	12.38	12.01	3.75	0.25
	合计	174	100			751	100			

表 4 不同生境灰胡杨对象木胸径与竞争强度模型参数

Table 4 Model parameters of objective trees DBH and CI in different habits

方程	模型汇总					参数估计值	
	$R^2$	$F$	$df_1$	$df_2$	$Sig.$	常数	$b_1$
幂方程(生境Ⅰ)	0.71	276.71	1	111	0.00	3.02	-0.92
指数方程(生境Ⅱ)	0.13	17.35	1	117	0.00	0.68	-0.03

灰胡杨对象木胸径与相应的竞争强度进行回归分析,了解对象木胸径大小与竞争强度之间的关系,经过多种回归模型的分析比较,2 种生境下最优拟合模型并不相同。生境Ⅰ灰胡杨种群对象木胸径与竞争强度之间服从幂函数关系,生境Ⅱ服从指数函数关系,2 种函数关系拟合度均达到极显著水平( $P<0.01$ )。利用 2 种函数分别对不同生境灰胡杨种内竞争强度进行预测(图 3),生境Ⅰ灰胡杨在 8 cm 径阶以后种内竞争强度趋于稳定,生境Ⅱ从起始径阶开始,竞争强度变幅不大,表明种内竞争压力较小。

4 结论与讨论

和田河上游灰胡杨种群由于生境条件变化,其种群数量、结构以及种内竞争强度明显不同。在生境Ⅰ条件下灰胡杨种群数量在各径阶之间分布较为合理,属于稳定发展型群落,生境Ⅱ种群数量在各个径阶之间分布不合理,中壮林龄数量较少,处于种群衰退阶段。种群分布格局在不同尺度下所属分布类型不一致,在生境Ⅰ条件下,0~1.8 m 尺度下为集群分布,>1.8 m 属于随机分布。生境Ⅱ 0~42 m 属于集群分布,42~48 m 为随机分布,>48m 向均匀分布趋势转化。2 种生境下不同径阶之间竞争强度变化趋势不一致,生境Ⅰ胸径与竞争强度之间呈幂函数关系,而生境Ⅱ服从指数函数关系。综合分析认为,和田河上游区域由于生境发生变化灰胡杨种群呈不同的变化趋势,在保护和恢复过程中应采取不同的人工措施与办法进行促进其稳定发展。

生境的变化会引起树种组成和结构的改变,进而对种群发展产生影响。但是,由于不同地区的环境、地形及组成树种存在差异,其影响程度也不相同<sup>[10-11]</sup>。灰胡杨作为荒漠河岸优势种,由于人为干扰因素,荒漠景观破碎化较为严重,环境异质性降低,导致灰胡杨种群表现出不同程度的退化。因此,种群稳定发展与否与生境条件密切相关,生境影响其幼苗更新、群体数量与结构。灰胡杨繁殖能力强,但在长期逆境条件下也会受到抑制,导致种群结构严重不平衡甚至发生衰退现象。本研究区域地下水位和土壤含水量均对灰胡杨繁殖特性有较大的影响,生境较好区域(生境Ⅰ),微生境条件均一,灰胡杨种群幼苗、幼树分布数量严重,可能是人为放牧干

扰所致,中壮林龄数量较多,短期内发展稳定,种群由聚集分布趋向于向随机分布发展。而生境较差区域(生境Ⅱ),种群数量分布并不合理,灰胡杨已处于衰退过程中,种群由集群分布向均匀分布转化,2 种生境条件下,随着尺度变化种群分布格局有较大的差异性。种群分布格局在大尺度范围内主要受气候条件的影响,而局部地区则与地形条件、物种散布机制、生态学特性密切相关<sup>[12]</sup>。

竞争推动生物种群数量、结构特征发生变化,种内竞争是导致个体死亡、塑造林分结构的主要推动力<sup>[13-14]</sup>,而生境的改变是影响种内竞争强度变化的主要外在因素。本研究中,由于生境条件的不同导致灰胡杨种内竞争强度、竞争模型的拟合及预测都有较大的不同。众多学者在对不同树种种内竞争模型进行拟合研究时,均符合幂函数曲线方程<sup>[15-16]</sup>,而本研究中生境较好(生境Ⅰ)前提下与其他研究学者结果一致,而生境较差(生境Ⅱ)则符合指数函数方程,同时表现出各径阶竞争强度不大。由于环境的差异性,灰胡杨种群发展动态、竞争强度产生较大的差异性,在经营管护方面所采取的措施与手段也不尽相同。生境Ⅰ条件下,灰胡杨胸径达到 10 cm 以后,种内竞争强度变化幅度逐渐降低,因此在胸径≤10 cm 之前,应当采取修枝、间伐等抚育管理措施,减缓种内竞争强度,同时采取封育措施,减少放牧,保证幼苗、幼树成活与生长。在生境Ⅱ条件下,各径阶种内竞争强度变幅不大,由于种群处于衰退过程,需要采取更新、复壮的措施保证种群存活发展。水源是控制极端干旱区荒漠植被空间分布和结构的主要因子<sup>[17]</sup>。近年来,国家、地方对处于衰退阶段的荒漠植被施行生态输水,但对自然植被的更新与复壮并没有起到根本性作用,可能与输水时间的有效性或者持续性有关,需加以人工辅助措施例如挖引水渠、断根,能够更加有效促进荒漠植被的恢复与保护<sup>[18]</sup>。

参考文献:

[1] 宋保伟,张宗勤,宋西德,等. 中国红豆杉种内和种间竞争关系的研究[J]. 西北林学院学报,2009,24(3):12-16.  
SONG B W,ZHANG Z Q ,SONG X D,et al. Intraspecific and interspecific competition of *Taxus chinensis* of liuba in Shaanxi

Province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(3): 12-16. (in Chinese)

[2] 刘方炎, 李昆, 廖声熙, 等. 濒危植物翠柏的个体生长动态及种群结构与种内竞争[J]. 林业科学, 2010, 46(10): 23-28. LIU F Y, LI K, LIAO S X, *et al.* Interspecific competition, population structure and growth dynamics of endangered *Calocedrus macrolepis*[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(10): 23-28. (in Chinese)

[3] FAJARDO A. Wood density is a poor predictor of competitive ability among individuals of the same species[J]. Forest Ecology and Management, 2016, 372: 217-225.

[4] 龙成, 杨小波, 龙文兴, 等. 铜鼓岭热带常绿季雨矮林 5 种蒲桃属植物的种群结构及空间格局[J]. 林业科学, 2015, 51(2): 18-27. LONG C, YANG X B, LONG W X, *et al.* Population structure and spatial patterns of five *Syzygium* species in tropical evergreen monsoon elfin forest, Tongguling[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(2): 18-27. (in Chinese)

[5] GRAY L, HE F L. Spatial point-pattern analysis for detecting density-dependent competition in a boreal chronosequence of Alberta[J]. Forest Ecology and Management, 2009, 259: 98-106.

[6] 郑亚琼, 张肖, 梁继业, 等. 2016. 濒危物种胡杨和灰叶胡杨的克隆生长特征[J]. 生态学报, 36(5): 1331-1341. ZHENG Y Q, ZHANG X, LIANG J Y, *et al.* Clonal growth characteristics of the endangered species *Populus euphratica* Oliv and *Populus pruinosa* Schrenk[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(5): 1331-1341. (in Chinese)

[7] 王海珍, 韩路, 徐雅丽, 等. 灰胡杨叶片气孔导度特征及数值模拟[J]. 林业科学, 2016, 52(1): 136-142. WANG H Z, HAN L, XU Y L, *et al.* Characteristics of stomatal conductance of *Populus pruinosa* and the quantitative Simulation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2016, 52(1): 136-142. (in Chinese)

[8] 吕瑞恒, 梁继业, 于军, 等. 和田河上游灰杨不同林型土壤理化性质及酶活性分析[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(2): 27-32. LYU R H, LIANG J Y, YU J, *et al.* Physicochemical properties and enzymatic activities of different *Populus euphratica* forest types in the up reaches of Hotan river[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(2): 27-32. (in Chinese)

[9] 韩路, 王海珍, 周正立, 等. 塔里木荒漠优势植物—胡杨种内、种间竞争研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(12): 2547 - 2552. HAN L, WANG H Z, ZHOU Z L, *et al.* Intraspecific and inter-specific competitions of the dominating plant *Populus euphratica* in the desert of Tarim[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(12): 2547 - 2552. (in Chinese)

[10] 张钦弟, 毕润成, 张金屯, 等. 庞泉沟自然保护区寒温性针叶林演替优势种群格局动态分析[J]. 生态学报, 2012, 32(18): 5713-5720. ZHANG Q D, BI R C, ZHANG J T, *et al.* Dynamic analysis on spatial pattern of dominant tree species of cold-temperate coniferous forest in the succession process in the Panquanguo nature reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5713-5720. (in Chinese)

[11] 蒋子涵, 金光泽. 择伐对阔叶红松林主要组成树种种内、种间竞争的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2179- 2186. JIANG Z H, JING G Z. Effects of selective cutting on intra- and interspecies competitions among major tree species in mixed broad leaved-korean pine forest[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(9): 2179- 2186. (in Chinese)

[12] 解传奇, 田民霞, 赵忠瑞, 等. 西藏色季拉山急尖长苞冷杉种群点格局分析[J], 应用生态学报, 2015, 26(6): 1617-1624. XIE C Q, TIAN M X, ZHAO Z R, *et al.* Spatial point pattern analysis of *Abies georgei* var. *smithii* in forest of Sygera mountains in southeast Tibet, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(6): 1617-1624. (in Chinese)

[13] HULSHOF C M, VIOLLE C, SPASOJEVIC M J, *et al.* Intra-specific and inter-specific variation in specific leaf area reveal the importance of abiotic and biotic drivers of species diversity across elevation and latitude[J]. Journal of Vegetation Science, 2013, 9: 1-11.

[14] BENDIX J, COWELL C M. Impacts of wildfire on the composition and structure of riparian forests in southern California [J]. Ecosystems , 2010, 13: 99-107.

[15] 项小燕, 吴甘霖, 段仁燕, 等. 大别山五针松种内和种间竞争强度[J]. 生态学报, 2015, 35(2): 389-395. XIANG X Y, WU G L, DUAN R Y, *et al.* Intraspecific and interspecific competition of *Pinus dabeshanensis* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(2): 389-395. (in Chinese)

[16] 马世荣, 张希彪, 郭小强, 等. 子午岭天然油松林乔木层种内与种间竞争关系研究[J]. 西北植物学报, 2012, 32(9): 1882-1887. MA S R, ZHANG X B, GUO X Q, *et al.* Intraspecific and interspecific competition of tree layers in natural *Pinus tabulaeformis* forest in Ziawuling mountains[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2012, 32(9): 1882-1887. (in Chinese)

[17] 白玉峰, 陈超群, 徐海量, 等. 塔里木河下游荒漠植被地上生物量空间分布与地下水埋深关系[J]. 林业科学, 2016, 52(11): 1-10. BAI Y F, CHEN C Q, XU H L, *et al.* Relationship between spatial distribution of aboveground biomass of desert vegetation and groundwater depth in the lower reaches of Tarim river, Xinjiang, China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2016, 52(11): 1-10. (in Chinese)

[18] HAO X M, LI W H. Impacts of ecological water conveyance on groundwater dynamics and vegetation recovery in the lower reaches of the Tarim river in northwest China[J]. Environ Monit Assess, 2014, 186: 7605-7616.