

珍稀濒危植物梓叶槭种群径级 结构与种内种间竞争关系

许 恒, 刘艳红*

(北京林业大学 森林资源生态系统过程北京市重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 该研究对四川省珍稀濒危植物梓叶槭(*Acer catalpifolium*)种群的主要分布区进行调查, 分析梓叶槭种群径级结构与种内和种间的竞争关系, 探讨竞争强度与径级和距离之间的关系。结果表明: (1) 梓叶槭胸径与树高之间存在显著的幂函数关系; 种群径级结构呈正态分布, 中小径级树木较多, 高径级树木较少。 (2) 梓叶槭种内和种间竞争强度分别占总竞争强度(222.87)的 15.16% 和 84.84%, 说明竞争主要来自种间。 (3) 梓叶槭与主要伴生种之间的竞争强度大小依次为柳杉>桢楠>白栎>刺楸>灯台树>桦木>杉木>厚朴>光皮桦; 对象木和竞争木距离与竞争指数之间较好地服从指数函数关系, 当对象木与竞争木距离小于 1 m 时, 竞争指数可达到 5.5, 随着距离逐渐增加, 其竞争指数相应降低, 并最终趋于平缓。 (4) 竞争强度随对象木胸径的增大而减小, 当对象木胸径小于 20 cm 时, 受到的竞争压力最大, 竞争指数最大的分别是梓叶槭与整个林分(234.98)以及梓叶槭与种间(184.01); 当对象木胸径小于 10 cm 时, 竞争指数均可以达到 18; 当对象木胸径大于 20 cm 时, 竞争强度变化很小且竞争指数较低; 竞争强度与对象木胸径服从幂函数关系($CI=AD^{-B}$)。 (5) 模型预测结果表明, 随着梓叶槭胸径的增加, 竞争指数均越来越小, 竞争强度呈降低趋势; 当梓叶槭胸径为 0~5 cm 时, 梓叶槭与整个林分受到的竞争强度最大, 竞争指数为 7.14, 占总竞争强度的 50%; 当胸径大于 20 cm 时, 竞争指数变化不大; 该模型能很好的预测梓叶槭种内和种间竞争强度。

关键词: 梓叶槭; 径级结构; 种内竞争; 种间竞争; 竞争指数

中图分类号: Q948.12⁺2.1

文献标志码: A

Relationship between Diameter Class Structure and Intraspecific and Interspecific Competitions of Precious and Endangering Plant *Acer catalpifolium*

XU Heng, LIU Yanhong*

(Key Lab of Forest Resources and Ecosystem Process of Beijing Municipal, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The research investigated the main distribution areas of the population of *Acer catalpifolium*, a precious and endangering plant in Sichuan Province, and analyzed the relationship between the diameter structure and the intraspecific and interspecific competition of the population, and explored the relationship about competition intensity, diameter and distance. The results show: (1) there is a significant power function relationship between *A. catalpifolium* diameter and height. The diameter class structure of the population is normally distributed. There are many trees at middle and small diameters and fewer trees at higher and higher diameters. (2) The intraspecific and interspecific competition intensity of the *A. catal-*

收稿日期: 2018-03-14; 修改稿收到日期: 2018-05-09

基金项目: 国家重点研发计划(2016FYC0503106)

作者简介: 许 恒(1991—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事恢复生态及生物多样性保护研究。E-mail: xh2016bjfu@163.com

* 通信作者: 刘艳红, 教授, 主要从事恢复生态与生物多样性保护研究。E-mail: liuyh@bjfu.edu.cn

pifolium accounting for 15.16% and 84.84% of the total competition intensity (222.87), respectively, indicating that the competition mainly comes from the interspecies. (3) The competition intensity between *A. catalpifolium* and its main associated species was in order of *Cryptomeria fortunei* > *Phoebe zhennan* > *Quercus fabri* > *Kalopanax septemlobus* > *Bothrocaryum controversum* > *Betula platyphylla* > *Cunninghamia lanceolata* > *Magnolia officinalis* > *Betula luminifera*. The target trees and competitors distance and competition index are well subject to the exponential function relationship; When the distance between the target trees and competitors is less than 1 m, the competition index can reach 5.5; with the gradual increase of the distance, its competition index decrease accordingly and eventually tends to be flat. (4) The competition intensity decreased with the increase of the diameter of the target. When the diameter of the target is less than 20 cm, the competition pressure is the greatest, and the competition index is the largest among the *A. catalpifolium* and the entire forest (234.98) and the *A. catalpifolium* and interspecific (184.01); When the target diameter is less than 10 cm, the competition index can reach 18; when the target diameter is larger than 20 cm, the competition intensity changes little and the competition index is lower; the competition intensity and the target trees diameter obey the power function relationship ($CI=AD^{-B}$). (5) The model prediction results show that with the increase of the *A. catalpifolium* diameter, the competition index is getting smaller and smaller, and the competition intensity is decreasing. When the *A. catalpifolium* diameter is 0 to 5 cm, the competition intensity between *A. catalpifolium* and the entire forest is the highest, and the competition index was 7.14, accounting for 50% of the total competition intensity. When the diameter is greater than 20 cm, the competition index has changed little. This model can predict perfectly the intraspecific and interspecific competition intensity of *A. catalpifolium*.

Key words: *Acer catalpifolium*; diameter class structure; intraspecific competition; interspecific competition; competition index

林木个体的生长发育受到生物和非生物等因素的综合影响^[1-2],其中林木之间的竞争在森林群落结构组成、种群动态、种群存活及物种更替等方面具有重要的作用,是影响林木个体生长和种群结构的重要因素^[3-5],竞争不仅影响林木个体的生长,还在物种的进化及形成、种群的空间分布及动态、群落的演替过程中扮演着十分重要的角色^[6];植物种内或种间普遍存在竞争^[7],这种竞争关系是塑造森林林分结构和动态的关键驱动因素,是生态学研究的核心问题之一^[8-9]。自 20 世纪 60 年代以来,许多学者采用不同的竞争指数模型来研究不同物种的种内种间竞争能力^[10-11],这些竞争指数模型可以被分为与距离有关的竞争指数和与距离无关的竞争指数两类^[12]。Hegyi 提出的与距离有关的竞争指数模型操作简便,能很好地反映林木个体生长对生境等资源需求与占有量之间的关系^[13-14]。近年,在林木竞争方面主要集中在一些濒危植物和针阔叶林的种内、种间竞争关系方面^[14-15],这些植物在幼树阶段受到强烈的种内与种间竞争压力,在竞争中更新与生长能力较弱的物种不易于在群落中生存。

梓叶槭(*Acer catalpifolium*)为槭树科槭属的落叶乔木,是四川西部城市理想的行道树和绿化庭园树种^[16],零星分布于四川中部平原,散生在海拔

500~1 300 m 的亚热带常绿阔叶林中^[17],是中国特有珍稀濒危树种,国家二级重点保护植物。国家林业局在 2010 年颁布的《全国极小种群野生植物拯救保护工程规划(2011~2015)》中列出目前中国梓叶槭共仅存 53 株。目前,有关梓叶槭的研究,国内仅见对其种子生物学特性^[18]和种子萌发特性^[19]的研究;而对梓叶槭种群个体生长动态以及对种群动态产生重要影响的种内种间竞争关系的研究尚未见报道。本研究以梓叶槭分布点为研究对象,运用 Hegyi 的单木竞争指数模型,研究梓叶槭种群径级结构特征,揭示梓叶槭的种内和种间竞争规律,为预测梓叶槭种群生长动态,揭示梓叶槭种群濒危机制以及天然梓叶槭种群的恢复与重建提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于四川省(97°21'~108°33'E,26°03'~34°19'N)的峨眉山(EMS)、都江堰(DJY)、大邑(DY)、平武(PW),基本信息见表 1。四川属亚热带湿润季风气候,四季分明,雨量充沛,年平均气温 16℃,1 月均温 4℃,7 月均温 23℃,无霜期长达 300 d 以上,土壤类型为冲积黄壤,pH 值在 3.6~7.4 之间;梓叶槭是四川省重要的珍稀濒危植物,主要集中分布在四川的峨眉山、都江堰和大邑,分布范围狭

窄。梓叶槭所在混交林中乔木层主要优势种有润楠 (*Machilus pingii*)、黄牛奶树 (*Symplocos laurina*)、南酸枣 (*Choerospondias axillaris*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、白栎 (*Quercus fabri*)、柳杉 (*Cryptomeria fortunei*)、灯台树 (*Bothrocaryum controversum*)、青榨槭 (*A. davidii*) 等;林下灌木层主要有球核荚蒾 (*Viburnum propinquum*)、小叶悬钩子 (*Rubus parvifolius*) 及一些乔木层幼苗等;草本层种类主要有楼梯草 (*Elatostema involucreatum*)、中华复叶耳蕨 (*Arachniodes chinensis*)、川苔草 (*Cladopus chinensis*)、沿阶草 (*Ophiopogon bodinieri*) 等。

2 研究方法

2.1 数据采集

由于梓叶槭分布稀少且在野外多呈散生状态,在前期大量野外调查基础上,于 2017 年 6~7 月,选择峨眉山、都江堰、大邑、平武所有能观察到的 143 株梓叶槭为对象木,以梓叶槭为中心,选择半径 6 m 样圆内所有乔木为竞争木^[20],调查样圆内所有的竞争木情况,记录地形(坡度、坡向、海拔)等因子;分别测量 143 株梓叶槭的胸径和高度,记录和测量每种竞争木的种名、胸径、树高及与对象木的距离。

2.2 径级结构

以 5 cm 为径阶距,将梓叶槭种群划分为 11 个径级(DBH),其中,0 < DBH ≤ 5 cm 为第 1 径级,5 cm < DBH ≤ 10 cm 为第 2 径级,依次类推,划分至第 10 径级(45 cm < DBH ≤ 50 cm),DBH > 50 cm 为第 11 径级,统计各径级植株个体数,然后以径级为横坐标,植株个体数为纵坐标,作梓叶槭种群径级结构图。

2.3 竞争指数的确定

采用 Hegyi 提出的与距离有关的竞争指数模型来研究梓叶槭种内和种间竞争指数的大小,计算公式为:

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

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。

为反映梓叶槭竞争指数 CI 随距离的变化趋势,得到梓叶槭竞争指数以后,以对象木和竞争木之间的距离为横坐标,竞争指数为纵坐标,作梓叶槭对象木和竞争木距离与竞争指数的关系图。

竞争木包括梓叶槭和其他树种,其中,梓叶槭和对象木之间的竞争为种内竞争,其他树种和对象木之间的竞争为种间竞争;总竞争强度等于种内竞争强度和种间竞争强度之和;对于梓叶槭种内竞争强度和种间竞争强度的计算,首先计算出竞争木梓叶槭对对象木的竞争指数 CI,然后将所有竞争木的竞争指数累加得到对象木种内的总竞争强度。再计算出其他竞争木对对象木的竞争指数 CI,然后将所有竞争木的竞争指数累加得到对象木种间的总竞争强度。

林木竞争受到个体胸径的影响较大,为研究梓叶槭个体大小与林木竞争强度的关系,以对象木胸径为自变量,竞争指数为因变量,用幂函数对竞争指数与对象木胸径进行回归拟合^[15],即:

$$CI = AD^{-B}$$

式中,CI 为竞争指数; D 为对象木胸径; A 和 B 为模型参数。

2.4 数据处理

运用回归分析方法研究对象木胸径与竞争指数的关系,所有数据统计在 Excel 2013 和 SPSS 13.0 中完成;图表用 Sigmaplot 12.5 绘制。

3 结果与分析

3.1 梓叶槭种群树高与胸径关系

梓叶槭所在天然林中,幼树阶段的树高生长与胸径的增长相比,优势相对明显;胸径为 3.5 cm 的植株,其树高可达 5 m。研究结果(图 1)发现,树高与胸径之间较好地服从幂函数关系($y = 2.269x^{0.6092}$, $R^2 = 0.7726$, $P < 0.0001$);梓叶槭幼树和中龄树比较多,老龄树相对较少;在胸径增加的早期,其高生长显著增加,随着胸径的增加,其高生长逐步趋于平缓。

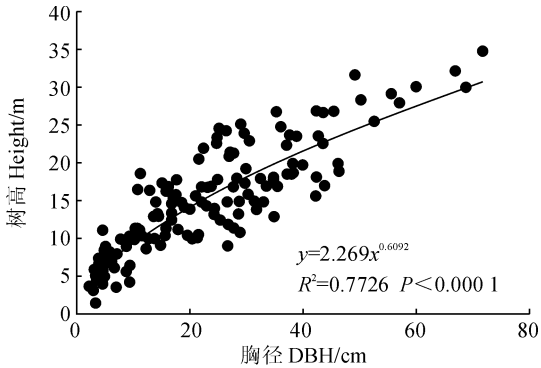


图 1 研究区 143 株梓叶槭胸径与树高的关系
Fig. 1 Relationship between DBH and height of 143 *A. catalpifolium* individuals in the study area

表 1 调查地区与样地基本信息

Table1 Basic information of the survey areas and sample plots

地区 Area	样地数 Number of plots	平均海拔 Mean altitude/m	经度 Longitude	纬度 Latitude	年平均温度 Mean annual temperature/℃	年平均降水量 Mean annual precipitation/mm	平均胸径 Mean DBH /cm	平均株高 Mean plant height/m	梓叶槭数量 A. catalpiifolium number	主要伴生种 Main associated species
峨眉 EMS	75	743	103°26′09.9″	29°33′44.2″	17.2	1789.98	17.7	12.2	75	润楠 <i>M. pingii</i> 、桢楠 <i>P. sheman</i> 、灯台树 <i>B. controversum</i> 、柳杉 <i>C. fortunei</i>
都江堰 DJY	60	809	103°32′56.3″	30°51′55.7″	15.5	1179.16	15.1	12.1	60	光皮桦 <i>B. luminifera</i> 、刺楸 <i>K. septemlobus</i> 、 女贞 <i>L. lucidum</i> 、灯台树 <i>B. controversum</i>
大邑 DY	4	1 036	103°22′21.0″	30°38′01.4″	16.2	904.03	11.0	9.7	4	青冈 <i>C. phanera</i> 、桦木 <i>B. platyphylla</i>
平武 PW	4	1 106	103°23′55.0″	32°14′16.0″	14.7	804.78	6.5	6.3	4	厚朴 <i>M. officinalis</i>

表 2 研究区对象木和竞争木生长状况

Table 2 Status of target trees and competitors in the study area

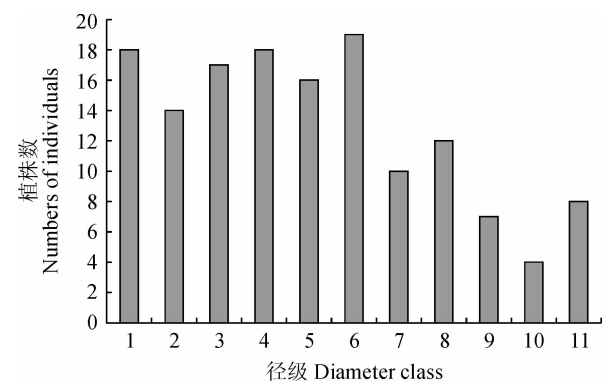
径级 Diameter scale		株数 Number		占总株数百分比 Percentage/%		平均胸径 Average of DBH/cm		平均树高 Average of height/m	
编号 No.	指标 Index/cm	对象木 Objective tree	竞争木 Competitor	对象木 Objective tree	竞争木 Competitor	对象木 Objective tree	竞争木 Competitor	对象木 Objective tree	竞争木 Competitor
1	0~5	18	51	12.59	14.49	4.11±0.82	3.85±0.90	5.59±2.14	4.93±1.91
2	5~10	14	104	9.79	29.55	7.21±1.69	7.79±1.53	7.11±2.03	8.09±2.08
3	10~15	17	87	11.89	24.72	12.40±1.58	12.62±1.47	12.16±2.87	11.19±2.74
4	15~20	18	21	12.59	5.97	17.44±1.49	16.84±1.20	13.89±2.39	14.39±3.08
5	20~25	16	27	11.19	7.67	22.85±1.51	22.56±1.46	16.16±4.26d	14.75±3.62
6	25~30	19	26	13.29	7.39	27.77±1.40	26.92±1.52	17.37±5.15d	14.98±3.12
7	30~35	10	11	6.99	3.13	32.78±1.72	33.40±1.58	17.55±2.84	16.98±4.38
8	35~40	12	4	8.39	1.14	37.53±1.36*	35.78±0.48*	21.07±3.03*	17.18±2.85*
9	40~45	7	11	4.90	3.13	42.93±0.68	43.11±1.12	22.71±4.63	20.47±4.89
10	45~50	4	4	2.80	1.14	46.83±1.63	45.63±0.15	24.30±6.00	22.78±4.65
11	>50	8	6	5.59	1.70	60.38±7.91	70.38±14.02	25.56±2.80	26.00±3.98
合计 Total		143	352	100	100	—	—	—	—

注: * 代表不同径级下对象木和竞争木的平均胸径和平均树高在 0.05 水平下差异显著

Note: * means the average DBH and average tree height between objective trees and competitive trees were significantly different at the 0.05 level

3.2 梓叶槭种群径级结构

对梓叶槭种群径级结构分析发现,随着径级的增加,梓叶槭种群径级分布总体呈现出先缓慢升高后降低的变化趋势(图 2)。梓叶槭种群个体主要集中在第 1~6 径级,占种群总体的 71%,第 6 径级株数最大(19 株),以后梓叶槭各径级(第 7~10 径级)总体呈下降趋势;梓叶槭种群小径级和中径级个体数所占比重大,大径级个体数所占比例小。这表明在梓叶槭



以梓叶槭胸径(DBH)每 5 cm 为径阶距,将种群划分为 11 个径级 [1 级(0 < DBH≤5 cm),2 级(5 cm < DBH≤10 cm),…… 10 级(45 cm < DBH≤50 cm),11 级(DBH > 50 cm)]

图 2 研究区梓叶槭种群径级结构

The diameter step was 5 cm of DBH in *A. catalpifolium*, the population size was divided into 11 diameter classes [level 1 (0 < DBH≤5 cm), 2 (5 cm < DBH≤10 cm), ... Level 10 (45 cm < DBH≤50 cm), Level 11 (DBH > 50 cm)]

Fig. 2 Size structure of *A. catalpifolium* population in the study area

种群中,中小径级树木较多,高径级树木较少,这可能与梓叶槭生境要求严格,人为破坏严重有关系。

3.3 对象木和竞争木数量关系

由表 2 可知,对象木共调查了 143 株,胸径范围为 2.3~71.7cm,平均胸径为 23.4 cm;树高范围为 1.5~34.7 m,平均树高为 15 m。对象木胸径主要分布于 2.3~29.8 cm(1~6 径级),占总株数的 71%,胸径和树高呈正相关($R^2=0.77$)。竞争木共调查了 352 株,胸径范围为 2.0~89.0 cm,平均胸径为 15.3 cm;树高范围为 1.3~32 m,平均树高为 11.1 m。竞争木胸径主要分布于 2~29.9 cm(1~6 径级),占总株数的 90%,胸径和树高呈正相关($R^2=0.74$)。对象木和竞争木的平均胸径和平均树高仅在第 8 径级(35~40 cm)内有显著性差异($P<0.05$),在其他径级内均无显著性差异;平均树高均随着平均胸径的增大而增大。

四川省独特的地理环境孕育着许多物种,梓叶槭竞争木种类丰富,在调查区域内共有竞争木 29 种 352 株,在第 2 径级内(5~10 cm)的竞争木数量最多,为 104 株;其中 0~30 cm 竞争木株数最多,占竞争木总体的 89.77%。说明中径级竞争木对梓叶槭产生的竞争比较激烈。

3.4 梓叶槭种内和种间竞争

梓叶槭种内种间竞争分析结果(表 3)发现,梓叶槭总竞争强度(种内竞争强度和种间竞争强度之和)为 222.87;其中,梓叶槭种内总竞争强度为 33.79,占总竞争强度的 15.16%,种间总竞争强度

表 3 研究区梓叶槭种内和种间竞争强度

Table 3 Intraspecific and interspecific competition intensity of *A. catalpifolium* in the study area

竞争木径级 Diameter class of competitors	种内竞争 Intraspecific competition			种间竞争 Interspecific competition			总竞争指数 Total competition index
	株数 Number	竞争指数 Competition index	平均竞争指数 Mean of CI	株数 Number	竞争指数 Competition index	平均竞争指数 Mean of CI	
0~5	21	6.15	0.29	30	6.00	0.20	12.15
5~10	9	2.38	0.26	95	36.53	0.38	38.91
10~15	13	2.83	0.22	75	34.55	0.46	37.38
15~20	4	0.54	0.13	19	12.23	0.64	12.77
20~25	8	5.82	0.73	22	22.25	1.01	28.07
25~30	9	8.18	0.91	20	40.72	2.04	48.90
30~35	3	1.20	0.40	7	9.52	1.36	10.72
35~40	1	0.65	0.65	3	1.72	0.57	2.37
40~45	2	1.44	0.72	9	19.15	2.13	20.59
45~50	2	4.60	2.30	2	1.04	0.52	5.64
>50	0	0	0	6	5.37	0.89	5.37
总计 Total	72	33.79	—	288	189.08	—	222.87

表 4 研究区竞争木种类组成和竞争强度

Table 4 Composition of competitive trees and competition intensity in the study area

树种 Tree species	株数 Number	占总株数 百分比 Percentage/%	平均胸径 Average of DBH/cm	平均树高 Average of height/m	竞争指数 Competition index	竞争指数排名 Competition index ranking
柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i>	38	13.29	20.34±10.71	12.58±4.08	45.81	1
桢楠 <i>Phoebe zhennan</i>	34	11.89	26.23±23.55	14.89±7.48	28.64	2
白栎 <i>Quercus fabri</i>	22	7.69	13.36±7.48	10.33±4.61	21.93	3
刺楸 <i>Kalopanax septemlobus</i>	11	3.85	12.81±7.48	11.50±4.57	12.40	4
灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i>	26	9.09	7.81±4.10	7.74±3.49	10.34	5
桦木 <i>Betula platyphylla</i>	8	2.80	19.19±11.17	13.78±6.67	9.82	6
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	17	5.94	22.12±15.22	12.30±4.15	9.03	7
厚朴 <i>Magnolia officinalis</i>	13	4.55	7.30±2.01	7.65±1.98	7.08	8
光皮桦 <i>Betula luminiifera</i>	14	4.90	12.54±4.21	13.76±4.35	6.69	9
南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	4	1.40	20.35±6.09	11.83±5.57	4.51	10
润楠 <i>Machilus pingii</i>	8	2.80	26.05±12.58	14.79±5.16	3.61	11
亮叶青冈 <i>Cyclobalanopsis phanera</i>	16	5.59	10.94±4.79	10.02±4.25	3.08	12
黄牛奶树 <i>Symplocos chinensis</i>	7	2.45	15.74±6.40	12.19±2.49	3.00	13
黑壳楠 <i>Lindera megaphylla</i>	6	2.10	9.40±3.53	10.08±2.07	2.75	14
黄柏 <i>Phellodendron amurense</i>	1	0.35	26.80±0.00	13.60±0.00	2.71	15
青榨槭 <i>A. davidii</i>	7	2.45	7.40±3.31	7.37±3.08	2.70	16
女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	13	4.55	8.85±3.79	8.65±2.52	2.20	17
梓叶槭 <i>A. catalpiifolium</i>	6	2.10	26.90±18.18	16.50±6.84	1.99	18
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	7	2.45	7.29±2.89	8.26±3.05	1.26	19
香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	4	1.40	12.63±2.73	11.43±2.90	1.10	20
峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	3	1.05	9.55±2.05	7.75±2.33	0.98	21
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	3	1.05	22.60±1.71	15.77±1.70	0.83	22
核桃 <i>Juglans cathayensis</i>	4	1.40	6.70±2.35	6.50±1.99	0.68	23
银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	6	2.10	9.00±3.94	6.00±2.87	0.28	24
茶树 <i>Camellia sinensis</i>	1	0.35	2.80±0.00	3.00±0.00	0.15	25
红豆杉 <i>Taxus chinensis</i>	1	0.35	13.40±0.00	5.00±0.00	0.10	26
檀木 <i>Altingia chinensis</i>	3	1.05	10.23±2.30	10.27±1.78	0.07	27
桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>	2	0.70	8.40±5.94	7.75±1.77	0.05	28
马桑 <i>Coriaria nepalensis</i>	1	0.35	6.20±0.00	6.80±0.00	0.04	29
总计 Total	286	100.00	—	—	183.81	—

为 189.08, 占总竞争强度的 84.84%(表 3), 说明梓叶槭的竞争主要来自种间; 梓叶槭在生长发育过程中不断与邻体发生种内、种间竞争, 竞争强度与个体大小和数量密切相关。由表 3 可以看出, 0~30 cm 的个体所受到的竞争强度较大, 种内总竞争强度达到 25.9, 占种内总竞争强度的 77%, 种间总竞争强度达到 152.3, 占种间总竞争强度的 81%; 在胸径 25~30 cm 时, 种内种间竞争强度达到最大, 种内竞争强度为 8.18, 种间竞争强度为 40.72, 种间竞争强

度是种内竞争强度的 5 倍; 当胸径≥30 cm 以后, 种内种间竞争强度呈现下降趋势。另外, 5~10 cm 的种间竞争木株数最多, 为 95 株, 但是竞争强度只有 36.53, 而 25~30 cm 的竞争木株数为 20 株, 但是竞争强度为 40.72。

由表 4 可知, 在调查中, 共测得 29 种竞争木, 总竞争指数为 183.81。其中, 竞争强度最大的是柳杉, 平均胸径为 20.34 cm, 平均树高为 12.58 m, 竞争指数为 45.81, 占竞争总指数的 24.92%, 其次为

桢楠(*Phoebe zhennan*),平均胸径为 26.23 cm,平均树高为 14.89 m,竞争指数为 28.64,占总竞争指数 15.58%,马桑(*Coriaria nepalensis*)的竞争能力最小,竞争指数仅为 0.04;竞争木平均胸径在 20 cm 以上的树种有柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、桢楠、杉木、南酸枣、润楠、黄柏(*Phellodendron amurense*)、梓叶槭、朴树(*Celtis sinensis*),树高在 12~16 m 之间;白栎、刺楸(*Kalopanax septemlobus*)和灯台树因个体数量多,对梓叶槭产生较大竞争压力,竞争指数分

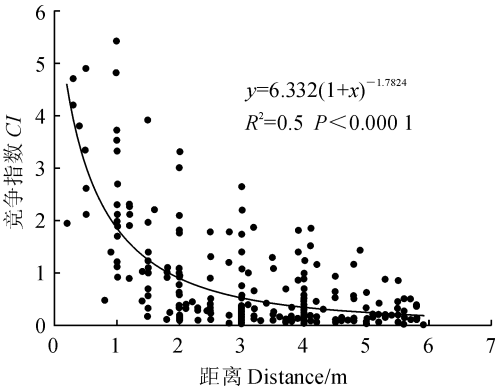


图 3 研究区梓叶槭对象木和竞争木距离与竞争指数的关系

Fig. 3 Relationship between distance of objective tree and competition tree and competition index of *A. catalpifolium* in the study area

别为 21.93、12.4 和 10.34。梓叶槭种内及其与主要伴生树种间的竞争强度大小顺序依次为:柳杉>桢楠>白栎>刺楸>灯台树>桦木>杉木>厚朴>光皮桦。

3.5 对象木和竞争木距离与竞争指数的关系

从对象木和竞争木距离与竞争指数的关系来看,对象木和竞争木距离与竞争指数之间较好地服从指数函数关系(图 3),回归分析得出拟合曲线的 $R^2=0.5, P<0.001$ 。在对象木和竞争木距离增加早期,其竞争指数明显较大,当对象木与竞争木距离小于 1 m 时,竞争指数可达到 5.5,随着对象木和竞争木距离逐渐增加,其竞争指数相应降低,并最终趋于平缓。

3.6 梓叶槭对象木胸径与竞争指数的关系及其预测

表 5 分析结果表明,竞争强度与对象木的模型参数显著性检验结果均达极显著水平。对 143 株对象木胸径与整个林分、对象木胸径与种内、对象木胸径与种间、对象木胸径与柳杉的竞争指数关系进行分析结果(图 4)发现,竞争指数均随着对象木胸径的增大而逐渐变小。其中,胸径小于 20 cm 之前受到的竞争压力最大,竞争指数最大的分别是梓叶槭与整个林分以(234.98)及梓叶槭与种间(184.01),

表 5 研究区竞争强度与对象木胸径的模型参数

Table 5 Model parameters of competition intensity and DBH of objective tree in the study area

项目 Item	类别 Sort			
	A	B	R ²	显著性 Significance
梓叶槭与整个林分 <i>A. catalpifolium</i> and stand	39.325	1.341	0.620 7	$P<0.01$
梓叶槭与伴生树种 <i>A. catalpifolium</i> and other species	20.664	1.156	0.518 9	$P<0.01$
梓叶槭种内 Intraspecific competition of <i>A. catalpifolium</i>	12.582	0.514	0.531 9	$P<0.01$
梓叶槭与柳杉 <i>A. catalpifolium</i> and <i>Cryptomeria fortunei</i>	51.244	1.334	0.793 6	$P<0.01$

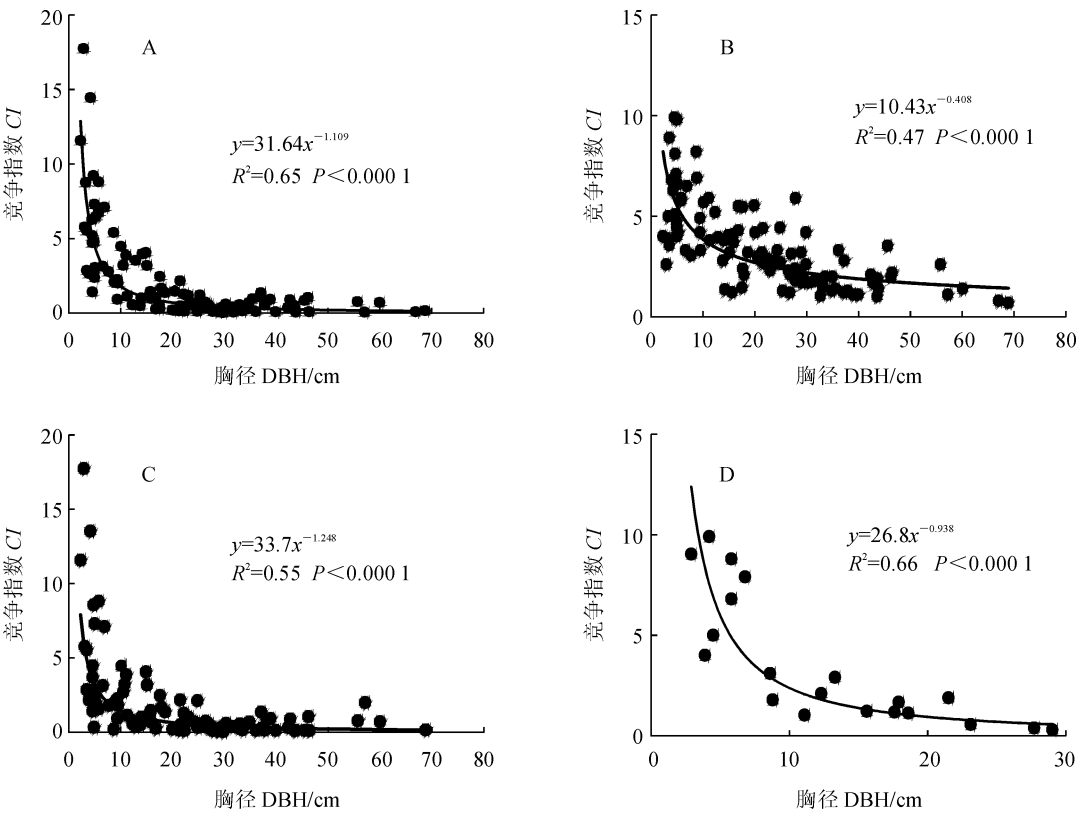
注:A、B 为回归模型 $CI=AD^{-B}$ 的参数

Notes: A and B are the regression model $CI=AD^{-B}$ parameters

表 6 研究区梓叶槭种内种间竞争强度的模型预测结果

Table 6 Model prediction of interspecific and intraspecific competition intensity in the study area

项目 Item	胸径 DBH/cm									
	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50
梓叶槭与整个林分 <i>A. catalpifolium</i> and stand	7.14	2.68	1.35	0.90	0.60	0.47	0.36	0.32	0.23	0.14
梓叶槭与伴生树种 <i>A. catalpifolium</i> and other species	4.33	2.01	1.13	0.8	0.56	0.46	0.36	0.33	0.27	0.25
梓叶槭种内 Intraspecific competition of <i>A. catalpifolium</i>	6.76	4.63	3.34	2.75	2.5	2.33	2.06	1.81	1.78	1.57
梓叶槭与柳杉 <i>A. catalpifolium</i> and <i>Cryptomeria fortunei</i>	5.98	2.41	1.69	1.24	0.78	0.64	0.46	0.34	0.21	0.19



A. 梓叶槭与整个林分; B. 梓叶槭种内; C. 梓叶槭与伴生树种; D. 梓叶槭与柳杉

图 4 梓叶槭对象木胸径与竞争指数的关系

A. *A. catalpifolium* and stand; B. Intraspecific competition of *A. catalpifolium*; C. *A. catalpifolium* and other species; D. *A. catalpifolium* and *Cryptomeria fortunei*

Fig. 4 Relationship between DBH of objective tree and competition index of *A. catalpifolium*

当对象木胸径小于 10 cm 时,竞争指数均可以达到 18;20 cm 之后,竞争强度变化不明显,且竞争指数较低。

由于所有模型均达到了极显著水平,可以采用幂函数模型对不同径级梓叶槭对象木竞争规律进行预测,结果(表 6)表明,随着梓叶槭胸径的增加,竞争指数均越来越小,竞争强度呈降低趋势;在梓叶槭胸径为 0~5 cm 时,梓叶槭与整个林分受到的竞争强度最大,竞争指数为 7.14,占总竞争强度的 50%;当梓叶槭胸径 < 20 cm 时,竞争指数的大小关系为梓叶槭与种内(17.39) > 整个林分(12.07) > 柳杉(11.32) > 伴生树种(8.27);当胸径大于 20 cm 时,竞争指数变化不大。所得模型能够较好预测梓叶槭的种内和种间竞争。

4 讨 论

4.1 梓叶槭种内种间竞争强度

植物之间普遍存在竞争,竞争是林木为争夺地上和地下资源而相互作用的主要表现形式,邻体竞

争反映了林木生长对资源需求与不同生境下对资源占有量的关系^[15],物种的竞争能力与该种的生态习性以及生态位有关^[21];生态位相似的物种,种间对资源的竞争可能会越剧烈,部分种群由于竞争就会降低其生存的空间;Hegyi 的单木竞争指数模型能够很好地反映植物个体对可利用资源和环境的分配,体现竞争强度的大小,是植物种内和种间关系常用的模型之一^[22],本研究运用该模型很好地揭示了梓叶槭种内和种间竞争强度。通过对 143 株对象木及 352 株竞争木的研究表明,梓叶槭种内竞争指数为 33.79,远小于种间竞争指数 189.08,显示了竞争压力主要来自种间,即它疏作用大于自疏作用,这与自然状态下该物种数量稀少且呈散生分布的特性相一致。与濒危物种竞争压力主要来自于种间的研究结果类似^[23-24];而与黄小波等^[25]对云南松(*Pinus yunnanensis*)以及付梦瑶等^[26]对马尾松(*Pinus massoniana*)的种内种间关系研究结果相反;研究表明,濒危树种均因数量稀少而导致了竞争压力来自种间。

梓叶槭种间除受竞争木大小和数量影响外,还因竞争木种类不同而产生较大差异。梓叶槭在种群动态的影响中,与邻体发生激烈的竞争;一般来说,在群落演替初期,群落内环境条件较好,物种丰富,竞争激烈,一些先锋树种竞争能力强,随着植物生长演替,先锋树种竞争能力下降甚至消亡^[27-28];在梓叶槭种群调查中,共有竞争木 29 种,表明与梓叶槭竞争的种类较多,其中柳杉、桢楠、白栎、刺楸、灯台树等是梓叶槭的主要竞争树种;柳杉因个体数量较多,胸径较大,在梓叶槭所在群落中占据优势,因而对梓叶槭的竞争压力最大;梓叶槭在生活史中,为了充分利用和争夺光照和空间等资源,与种内和伴生树种产生激烈的竞争;梓叶槭对生境要求严格,分布狭窄,在种群发育的初期就经过了严格的环境筛选,大量幼苗和幼树死亡,只有很少的一部分能成长成大树,加上种子败育率高以及鸟类和真菌作用的影响,种子难以萌发,幼苗极其稀少;从而导致了梓叶槭种间竞争强度大于种内竞争强度。

4.2 竞争强度与对象木胸径的关系

林木的竞争能力受多种生物因素和非生物因素的制约,生物因素中林木个体胸径的大小对竞争能力影响很大^[7]。竞争强度与对象木胸径模型预测表明,竞争强度随着对象木胸径的增大而减小,二者服从幂函数关系,即: $CI = AD^{-B}$;这与项小燕等^[15]对大别山五针松(*Pinus dabeshanensis*)、李帅锋等^[7]对云南红豆杉(*Taxus yunnanensis*)、柴宗政等^[29]对油松(*Pinus tabulaeformis*)的研究结果相类似。通过对象木胸径与整个林分的竞争强度的拟合方程可以看出,随着对象木胸径的增加,梓叶槭所受到的竞争压力就越小;当梓叶槭胸径小于 20 cm 时,梓叶槭承受的竞争压力大,当胸径大于 20 cm 时,受到的竞争强度逐渐减少直至稳定在较低水平,这可能是因为幼龄的梓叶槭对光、水等资源的竞争能力弱,周围的竞争木也进入林冠层,受到伴生种的强烈竞争;导致梓叶槭种间竞争强度较大,随着梓叶槭的生长,在群落中占据一定的优势,竞争能力增强,因而受到的竞争压力不断减弱。

随着梓叶槭所在群落的演替,梓叶槭种子扩散区域有限,幼苗不能在林下更新,从而导致个体匮乏,最终会被伴生种柳杉、白栎、刺楸、灯台树等树种取代。在以后的研究中可以加强对优势树种的年龄结构及其动态等进行研究,同时对不同地区梓叶槭种群生活史特征进行比较研究,以期深入探讨梓叶槭所在群落演替的发展规律。

4.3 对象木与竞争木的距离对竞争指数的影响

树木个体间的竞争不但随树种不同而变化^[30],而且随着对象木与竞争木距离的不同,树种的竞争能力和竞争关系也不断变化。将对象木与竞争木的距离与竞争指数进行回归分析,结果表明:对象木与竞争木的距离与竞争指数之间存在着指数函数关系,随着对象木与竞争木的距离的增加,竞争指数逐渐减小并最后趋于稳定;这说明所有对对象木产生竞争作用的竞争木都在以对象木为中心的一定区域内;但是在实际的林分管理中,如何合理地确定这个区域范围,才能使所计算的竞争指数准确地反映该对象木所受的竞争影响程度还需要进一步研究^[7]。在实际调查中还发现,梓叶槭小树或者幼树由于处于林木下层,竞争的能力弱,此外,竞争的强弱与距离和各生态因子有很大的关系。本文着重分析了梓叶槭种内种间竞争与胸径生长之间的关系,而有关树木的生长对各生态因子的响应还有待于长期的研究。

4.4 梓叶槭生境管理的对策与建议

根据梓叶槭竞争强度的研究结果及其种群缺乏幼苗幼树,年龄结构不合理的现状,在天然林更新中,应采取人工抚育幼苗等措施来加强对中小径级梓叶槭的保护,合理经营和管理梓叶槭天然林;另根据竞争模型预测结果,在梓叶槭胸径达到 20 cm 之前,可对影响其生长的伴生树种,特别是竞争力强的树种,如柳杉、桢楠、刺楸、灯台树等进行修枝或择伐,以保证其获得足够的生存资源,减少竞争木对生存空间和资源的利用,促进梓叶槭天然林的更新,达到保护这一珍稀濒危物种的目的。

参考文献:

[1] PEDWESEN R Ø, BOLLANDSÅS O M, GOBAKKEN T, *et al.* Deriving individual tree competition indices from airborne laser scanning[J]. *Forest Ecology & Management*, 2012, **280** (280): 150-165.

[2] WU H W, ZHEN C. Study on the improvement and application of the neighbourhood interference index model[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, **37**(1): 1-5.

- [3] ANNING A K, MCCARTHY B C. Competition, size and age affect tree growth response to fuel reduction treatments in mixed-oak forests of Ohio[J]. *Forest Ecology & Management*, 2013, **307**(307): 74-83.
- [4] 巢 林, 洪 滔, 李 键, 等. 不同林龄、径级杉木人工林种内竞争规律[J]. 浙江农林大学学报, 2015, **32**(3): 353-360.
CHAO L, HONG T, LI J, *et al.* Intraspecific competition in a *Cunninghamia lanceolata* plantation with different age and diameter classes[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2015, **32**(3): 353-360.
- [5] MALEKI K, KIVISTE A, KORJUS H. Analysis of individual tree competition effect on diameter growth of silver birch in Estonia[J]. *Forest Systems*, 2015, **24**(2): 23.
- [6] SABATIA C O, BURKHART H E. Competition among loblolly pine trees: Does genetic variability of the trees in a stand matter[J]. *Forest Ecology & Management*, 2012, **263**(263): 122-130.
- [7] 李帅锋, 刘万德, 苏建荣, 等. 滇西北金沙江流域云南红豆杉群落种内与种间竞争[J]. 生态学报, 2013, **32**(1): 33-38.
LI S F, LIU W D, SU J R, *et al.* Intra- and interspecific competitions of *Taxus yunnanensis* population in Jinsha River Basin of northwest Yunnan Province, Southwest China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(1): 33-38.
- [8] 张忠华, 胡 刚, 秦 川, 等. 青秀山风景区优势种大叶栎种内与种间的竞争关系[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, **36**(1): 67-71.
ZHANG Z H, HU G, QIN C, *et al.* Intraspecific and interspecific competition of dominant tree *Castanopsis fissa* in Qingxiushan Scenic Spot, Guangxi, southern China[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2016, **36**(1): 67-71.
- [9] FRAVER S, DAMATO A W, BRADFORD J B, *et al.* Tree growth and competition in an old growth *Picea abies* forest of boreal Sweden: influence of tree spatial patterning[J]. *Journal of Vegetation Science*, 2013, **25**(2): 374-385.
- [10] 张跃西, 钟章成. 亚热带次生常绿阔叶林优势种间的竞争效应与竞争反应[J]. 应用与环境生物学报, 2003, **9**(4): 333-335.
ZHANG Y X, ZHONG Z C. Competitive effect and response among the dominant species in subtropic secondary evergreen broadleaved forest[J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2003, **9**(4): 333-335.
- [11] 封 磊, 洪 伟, 吴承祯, 等. 杉木-拟赤杨人工混交林种内、种间竞争强度研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, **12**(1): 46-50.
FENG L, HONG W, WU C Z, *et al.* Intraspecific and interspecific competition intensity in mixed forest plantation of *Cunninghamia lanceolata* and *Alniphyllum fortunei* [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2004, **12**(1): 46-50.
- [12] LEDERMANN T. Evaluating the performance of semi-distance-independent competition indices in predicting the basal area growth of individual trees[J]. *Revue Canadienne De Recherche Forestière*, 2010, **40**(4): 796-805.
- [13] 张 池, 黄忠良, 李 炯, 等. 黄果厚壳桂种内与种间竞争的数量关系[J]. 应用生态学报, 2006, **17**(1): 22-26.
ZHANG C, HUANG Z L, LI J, *et al.* Quantitative relationships of intra- and interspecific competition in *Cryptocarya concinna* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, **17**(1): 22-26.
- [14] 李际平, 房晓娜, 封 尧, 等. 基于加权 Voronoi 图的林木竞争指数[J]. 北京林业大学学报, 2015, (3): 61-68.
LI J P, FANG X N, FENG Y, *et al.* Tree competition indexes based on weighted Voronoi diagram[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2015, (3): 61-68.
- [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.
- [16] 魏 岩, 王成云, 牟书勇, 等. 梭梭属植物抗氧化酶活性对荒漠环境的季节性响应[J]. 新疆农业大学学报, 2007, **30**(1): 21-24.
WEI Y, WANG C Y, MOU S Y, *et al.* Seasonal response of the activity of antioxidant enzymes of *Haloxyylon Bunge* to desert[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2007, **30**(1): 21-24.
- [17] 潘红丽, 冯秋红, 隆廷伦, 等. 四川省极小种群野生植物资源现状及其保护研究[J]. 四川林业科技, 2014, **35**(6): 41-46.
PAN H L, FENG Q H, LONG Y L, *et al.* Discussion on resource condition and protection technique for rare endangered species in Sichuan Province[J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2014, **35**(6): 41-46.
- [18] 余道平, 彭启新, 李策宏, 等. 梓叶槭种子生物学特性研究[J]. 中国野生植物资源, 2008, **27**(6): 30-32.
YU D P, PENG Q X, LI C H, *et al.* Research on the biological characters of the seeds of *Acer catalpifolium* [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2008, **27**(6): 30-32.
- [19] 马文宝, 许 戈, 姬慧娟, 等. 珍稀植物梓叶槭种子萌发特性初步研究[J]. 种子, 2014, **33**(12): 87-90.
MA W B, XU G, JI H J, *et al.* Preliminary study on germination characteristics of the rare plant *Acer catalpifolium* [J]. *Seed*, 2014, **33**(12): 87-90.
- [20] 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 *Cal-*

cedrus macrolepis [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, **46** (10): 23-28.

[21] 廖秋林, 沈守云, 卜国华, 等. 多花木兰人工生态恢复植物群落种群竞争及其生态位研究[J]. 中国农学通报, 2012, **28** (31): 71-74.

LIAO Q L, SHEN S Y, BU G H, *et al.* Study on the population competition and niche of *Magnolia multiflora* man-made plants community for ecological restoration[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, **28**(31): 71-74.

[22] 李 尤, 苏智先, 张素兰, 等. 珙桐群落种内与种间竞争研究[J]. 植物分类与资源学报, 2006, **28**(6): 625-630.

LI Y, SU Z X, ZHANG S L, *et al.* Intraspecific and inter-specific competition in *Davidia involucrate* Community[J]. *Journal of Plant Classification and Resources*, 2006, **28**(6): 625-630.

[23] 蒋国梅, 孙 国, 张光富, 等. 濒危植物宝华玉兰种内与种间竞争[J]. 生态学杂志, 2010, **29**(2): 201-206.

JIANG G M, SUN G, ZHANG G F, *et al.* Intra-and inter-specific competition of endangered plant *Magnolia zenii* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, **29**(2): 201-206.

[24] 张光富, 姚 锐, 蒋悦茜, 等. 安徽万佛山不同生境下银缕梅的种内与种间竞争强度[J]. 生态学杂志, 2016, **35**(7): 1 744-1 750.

ZHANG G F, YAO R, JIANG Y Q, *et al.* Intraspecific and interspecific competition intensity of *Parrotia subaequalis* in different habitats from Wanfoshan Nature Reserve, Anhui Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, **35**(7): 1 744-1 750.

[25] 黄小波, 刘万德, 苏建荣, 等. 云南松天然林的种内和种间竞争[J]. 林业科学研究, 2016, **29**(2): 209-215.

HUANG X B, LIU W D, SU J R, *et al.* Intraspecific and interspecific competition of *Pinus yunnanensis* natural forest [J]. *Forest Research*, 2016, **29**(2): 209-215.

[26] 付梦瑶, 崔秋芳, 吴 明, 等. 松栎混交林中马尾松的种内种间竞争[J]. 河南农业大学学报, 2016, (3): 311-317.

FU M Y, CUI Q F, WU M, *et al.* Intraspecific and interspecific competition of *Pinus massoniana* and *Quercus acutissima* mixed artificial forest[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2016, (3): 311-317.

[27] 邹春静, 徐文铎. 沙地云杉种内、种间竞争的研究[J]. 植物生态学报, 1998, **22**(3): 269-274.

ZOU C J, XU W F, Study on Intraspecific and Interspecific Competition of *Picea mongolica* [J]. *Journal of Plant Ecology*, 1998, **22**(3): 269-274.

[28] LAUNGANI R, KNOPS J M H, SCHIMEL D. Species-driven changes in nitrogen cycling can provide a mechanism for plant invasions[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2009, **106** (30): 12 400-12 405.

[29] 柴宗政, 王得祥, 张丽楠, 等. 秦岭西段油松天然次生林种群竞争关系研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, **40**(12): 57-63.

CHAI Z Z, WANG D X, ZHANG L N, *et al.* Intra-and interspecific competitions of *Pinus tabulaeformis* natural secondary forests in western section of Qinling Mountains [J]. *Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.)*, 2012, **40**(12): 57-63.

[30] 李志洪, 胡淑仪, 李 伟, 等. 粤东北马尾松-木荷混交林种内种间竞争强度分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, **33** (8): 91-95.

LI Z H, HU S Y, LI W, *et al.* Intra-specific and inter-specific competitions among major trees species in *Pinus massoniana* and *Schima superba* mixed forest in northeastern Guangdong Province[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2013, **33**(8): 91-95.

(编辑:潘新社)