

安徽万佛山不同生境下银缕梅的种内与种间竞争强度

张光富^{1*} 姚锐¹ 蒋悦茜² 陈福程² 张文燕²

(¹南京师范大学生命科学学院, 江苏省生物多样性与生物技术重点实验室, 南京 210023; ²南京师范大学中北学院, 南京 210023)

摘要 利用 Hegyi 单木竞争指数模型, 对安徽万佛山自然保护区不同生境下珍稀濒危植物银缕梅 (*Parrotia subaequalis*) 种群的种内、种间竞争强度进行定量分析, 并讨论了森林群落中同一树种不同生境条件下的竞争强度。结果表明: 银缕梅竞争压力主要来自种间, 竞争强度为 240.6, 占总竞争强度 69.3%; 对象木银缕梅的种内、种间竞争强度依次为银缕梅 > 紫弹朴 (*Celtis biondii*) > 青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*) > 黄连木 (*Pistacia chinensis*) > 朴树 (*Celtis sinensis*) > 枫香 (*Liquidambar formosana*) > 薄叶润楠 (*Machilus leptophylla*); 不同生境下银缕梅的数量以及种内、种间竞争强度不同, 在山坡生境下银缕梅数量较多 (178 株), 而沟谷生境下较少 (仅 65 株); 且前者的种内、种间竞争强度均大于后者。在两种生境下均是小径级 ($4.0\text{ cm} \leq \text{DBH} < 8.0\text{ cm}$) 银缕梅的种内、种间竞争强度最大; 该区对象木银缕梅的竞争强度与其胸径大小近似服从幂函数关系 ($CI = AD^B$); 随着银缕梅胸径的增大, 所受到的竞争压力逐渐减小, 当银缕梅胸径小于 16 cm 时, 对象木受到的竞争强度较大。此外, 森林群落中同一树种因生境不同其竞争强度存在差异。

关键词 银缕梅; 种内竞争; 种间竞争; 竞争指数; 生境

Intraspecific and interspecific competition intensity of *Parrotia subaequalis* in different habitats from Wanfoshan Nature Reserve, Anhui Province. ZHANG Guang-fu^{1*}, YAO Rui¹, JIANG Yue-qian², CHEN Fu-cheng², ZHANG Wen-yan² (¹ College of Life Sciences, Nanjing Normal University, Jiangsu Key Laboratory of Biodiversity and Biotechnology, Nanjing 210023, China; ² Zhongbei College, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China).

Abstract: The intraspecific and interspecific competition intensities of rare and endangered tree *Parrotia subaequalis* in Wanfoshan Nature Reserve, Anhui Province, were quantitatively analyzed with Hegyi single-tree competition index model. Meanwhile, for the same tree species from a certain forest community, its competition intensity in two different habitats (hillside and valley) was also discussed. The results showed that the main competitive intensity of the *P. subaequalis* population came from interspecific competition, and the value was 240.6, which accounted for 69.3% of the total. The competition intensity of intraspecific and interspecific competition with *P. subaequalis* followed the order of *P. subaequalis* > *Celtis biondii* > *Cyclobalanopsis glauca* > *Pistacia chinensis* > *Celtis sinensis* > *Liquidambar formosana* > *Machilus leptophylla*. Notably, individual number of *P. subaequalis* and intensity of intraspecific and interspecific competition were different between the two habitats. The number of trees of *P. subaequalis* in hillside (178) was more than that in valley (only 65); both intraspecific and interspecific competition intensity in hillside was stronger than in valley. The competition intensity of this species in the small size class ($4.0\text{ cm} \leq \text{DBH} < 8.0\text{ cm}$) was the strongest both in hillside and in valley. There was a significant negative correlation between the whole forest competition intensity and the DBH of objective trees ($CI =$

江苏省大学生实践创新训练项目 (201513906009Y) 和南京师范大学校留学回国资助项目 (2014104XLH0193) 资助。

收稿日期: 2015-10-26 接受日期: 2016-04-27

* 通讯作者 E-mail: zhangguangfu@njjnu.edu.cn

AD^B). The competition intensity of *P. subaequalis* declined with increasing *DBH*, and the stress was more intense for trees with *DBH* less than 16 cm. In addition, it is suggested that the competition intensity in different habitats may be probably different for a certain tree species in forest communities.

Key words: *Parrotia subaequalis*; intraspecific competition; interspecific competition; competition index; habitat.

竞争是指两个或两个以上有机体在所需的环境资源或空间相对不足的情况下所发生的相互关系,它是植物种内与种间关系的主要形式之一(蒋国梅等,2010;巢林等,2015;陈永刚等,2015;陈仁飞等,2015)。因此,植物种内、种间竞争是目前植物生态学研究的核心问题之一(杜峰等,2004;Tilman,2010;Fraver *et al.*,2014)。研究表明,竞争还是森林群落中树木间的一个基本过程,它对种群动态、种群存活及物种更替均具有重要的作用(Maleki *et al.*,2015)。目前对于不少珍稀濒危树种的种内与种间竞争研究发现,由于它们的生境要求一般较为特殊,种群更新能力不强,植物长势总体较弱,分布往往较为局限,在森林群落的竞争中大多处于劣势,其竞争压力主要来自种间,如宝华玉兰(*Magnolia zenii*)、云南红豆杉(*Taxus yunnanensis*)和大别山五针松(*Pinus dabeshanensis*)等(蒋国梅等,2010;李帅锋等,2013;项小燕等,2015)。

银缕梅(*Parrotia subaequalis*)在1999年国务院批准的《国家重点保护野生植物名录(第一批)》中被列为国家Ⅰ级濒危植物(于永福,1999;Li *et al.*,2015),在2004年《中国植物红色名录》中又被列为濒危种(endangered species)(汪松等,2004)。此外,近年来该种还被列为我国极小种群保护物种(印红,2013)。银缕梅主要零星分布于中国苏、浙、皖等省的亚热带局部山地(Zhang *et al.*,2003;Li *et al.*,2008;国家林业局,2009)。其中,安徽万佛山自然保护区分布的野生种群是目前已知的银缕梅最大自然种群(龚滨等,2012)。野外调查过程中发现,该种成年植株数量不多,在万佛山常沿着沟谷或山坡呈斑块状分布,但群落中伴生树种较多。野外考察发现,银缕梅与伴生树种之间存在明显的竞争现象,并且竞争强度与个体大小密切相关。研究表明,不同生境条件下,同一珍稀植物如裸果木(*Gymnocarpus przewalskii*)的种群大小存在明显的不同(王立龙等,2015)。而在同一生境内,不同种植物则表现出一定的结构和功能方面的趋同性(孙善文等,2014)。最近对亚热带地区森林群落的幼苗动态分析表明,

生境过滤是维持群落中生物多样性的重要机制之一(王薇等,2014)。单木竞争指数的模型较多,但以Hegyi的模型预测效果最好(蒋国梅等,2010)。本文以银缕梅为研究对象,采用Hegyi(1974)单木竞争指数模型研究不同生境条件下银缕梅种内和种间的竞争,旨在分析银缕梅种群和伴生树种之间的竞争关系,以期揭示种群的生态适应机制,为更好地保护该濒危物种提供一定的理论依据。此外,还简要探讨了森林群落中同一树种不同生境条件下的竞争强度。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究地区为安徽万佛山自然保护区,位于大别山南坡的舒城县西南部。其地理位置介于 $31^{\circ}01'N-31^{\circ}05'N$, $116^{\circ}31'E-116^{\circ}34'E$ 。该区属中山地貌,地势陡峻、地形复杂、沟谷纵横。境内最高峰为猪头尖,海拔1539 m。该区为北亚热带湿润季风气候,这里四季分明,气候温和,雨水充沛。年平均气温 $13.6^{\circ}C$,最冷月(1月)平均气温 $2^{\circ}C$,最热月(7月)平均气温 $27^{\circ}C$ 。年平均降水量1300 mm,全年无霜期220 d。主要土壤类型为山地黄壤、山地棕壤和局部山地草甸土。地带性植被为常绿、落叶阔叶混交林。野外调查发现,银缕梅种群主要见于海拔450~600 m的含有少量常绿树的落叶阔叶林中,并且主要分布于沟谷和山坡两类生境。群落内的乔木层优势种主要有银缕梅、紫弹朴(*Celtis biondii*)、朴树(*C. sinensis*)、黄连木(*Pistacia chinensis*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、枫香(*Liquidambar formosana*)和薄叶润楠(*Machilus leptophylla*)等;灌木层主要有牛鼻栓(*Fortunearia sinensis*)、映山红(*Rhododendron simsii*)、紫弹朴、青冈和银缕梅等;草本层较稀疏,主要有三脉叶马兰(*Kalimeris integrifolia*)、络石(*Trachelospermum jasminoides*)和青绿苔草(*Carex breviculmis*)等。

1.2 数据采集

银缕梅最大自然种群分布于安徽万佛山自然保

护区(龚滨等,2012;Li *et al.*,2015),而且野外调查中发现该区的银缕梅主要集中分布于龙潭、皂角冲和清凉涧等地。其中,银缕梅种群在龙潭地区的分布较为集中,数量最多,主要见于向阳山坡与附近的沟谷。因此,2015 年 9 月在龙潭选择银缕梅分布相对集中且保存较为完好的沟谷和山坡,分别设置 8 块调查样地,面积分别为 15 m×25 m 和 20 m×20 m (图 1)。为了避免边缘效应,样地面积比龚滨等(2012)对银缕梅种群格局研究时的取样面积(300 m²)略大。

通常对象木(objective tree)和竞争木(competitive tree)的起测胸径为 5.0 cm(王林林等,2012;项小燕,2015),但是由于调查样地中银缕梅小径级个体较多,为了更好地反映对象木银缕梅与周围其他树种的竞争关系,因此将起测胸径定为 4.0 cm。

以样地中银缕梅(DBH≥4.0 cm)为对象木,共选取 44 株,其中沟谷 20 株,山坡 24 株。样圆的范围根据样地的林隙半径、上层树的影响范围和样地的树高及冠幅等进行确定(蒋国梅等,2010;项小燕等,2015),因此以对象木为中心,将半径为 6 m 样圆内的所有乔木树种(DBH≥4.0 cm)定为竞争木。记录对象木、竞争木的种名,并分别测定其胸径、树高、冠幅以及竞争木与相对象木之间的距离(Fraver *et al.*,2014)。野外调查时对萌生植株以胸径最大的分株予以记录。

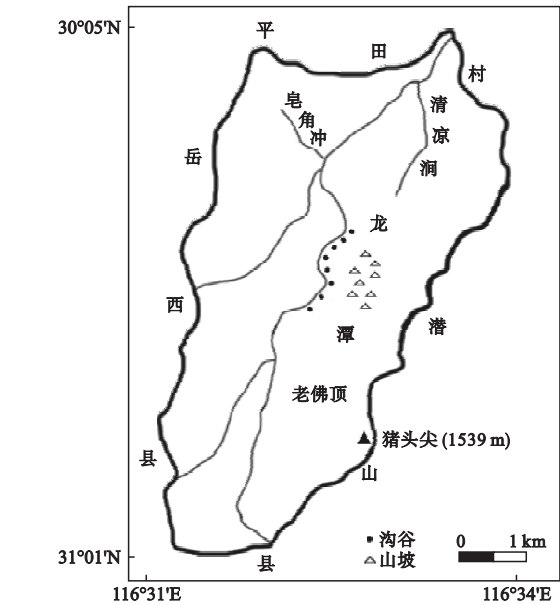


图 1 万佛山自然保护区银缕梅取样点示意图
Fig.1 Distribution of *Parrotia subaequalis* plots in Wanfoshan Nature Reserve

1.3 数据分析

单木竞争指数的模型较多,其中 Hegyi 的单木竞争指数不仅可以反映群落个体生长与生存空间的关系,而且也反映了植株对环境质量的要求与现实生境下植株对环境资源占有量之间的关系,而且野外调查简单易行,获得的数据准确性高,已经被大量用于植物的种内和种间竞争关系研究(蒋国梅等,2010;张莉等,2012;Fraver *et al.*,2014;项小燕等,2015)。本文也采用该模型来计算竞争指数,公式如下:

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

式中:CI 为竞争指数,其值越大,竞争越激烈;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。

计算出每株竞争木对对象木的竞争指数,将 N 株竞争木的竞争指数累加和即得银缕梅种内及其与伴生树种的竞争强度。对同一生境类型下的竞争指数进行累加,即得到该生境下的竞争指数,并对不同生境类型下的竞争指数进行独立样本 t 检验。将对象木的胸径与竞争指数进行回归分析,即以对象木银缕梅胸径为自变量,竞争指数为因变量,运用线性、对数方程和幂函数模型对竞争指数和对象木胸径的关系进行回归拟合。所有数据在 Excel 2013 和 SPSS 16.0 中完成。

2 结果与分析

2.1 对象木与竞争木的概况

本次在万佛山共调查对象木 44 株,最小胸径为 4.30 cm,最大胸径为 30.88 cm,平均胸径为 9.65 cm。竞争木共 55 种 849 株。在半径为 6 m、面积为 113.04 m²的样圆内平均每株对象木有竞争木 19 株。将所调查的对象木按径级分组(表1),其中小

表 1 对象木银缕梅的胸径分布和竞争强度
Table 1 DBH distribution and competition intensity of *Parrotia subaequalis*

径级 (cm)	株数			径级株数 比例(%)	竞争 指数	平均竞争 指数
	沟谷	山坡	小计			
4~8	9	11	20	45.46	229.205	11.460
8~12	9	6	15	34.09	89.095	5.940
12~16	1	3	4	9.09	14.884	3.721
16~20	1	3	4	9.09	11.865	2.966
>20	0	1	1	2.27	2.138	2.138
合计	20	24	44	100.00	347.186	

径级的银缕梅所占的比例最高,为 45.46%。随着对象木银缕梅径级的不断增加,植株的个体数不断减少,银缕梅的竞争指数不断降低,并且平均竞争指数也不断降低,小径级的银缕梅受到的竞争强度较大。

2.2 银缕梅种内与种间竞争

安徽万佛山银缕梅的种内竞争强度为 106.589, 占总竞争强度(即种内与种间竞争强度之和)的 30.70%;种间竞争强度为 240.598, 占总竞争强度的 69.30%(表 2)。后者的竞争强度是前者的 2 倍多,说明银缕梅的竞争主要来自于种间。这与该种在自然状态下种群数量较少,且个体分布较为分散相适应。

当对象木银缕梅径级不断增加时,种内和种间竞争指数均不断降低,竞争强度也逐渐减小($r = -0.996, P < 0.05$)。首先,就数量而言,在径级 > 16 cm 时,不管是种内竞争还是种间竞争,每个径级的植株数量均较少。其中,银缕梅仅 1 株,占竞争木银缕梅总数(243)的 0.41%;非银缕梅仅 33 株,占竞争木非银缕梅总数(604)的 5.46%。其次,就竞争指数而言,当对象木径级 > 16 cm 时,银缕梅的种内竞争指数仅为 0.379;而当对象木径级 < 16 cm 时,其种内竞争指数达 106.21,可见前者远小于后者。当对象木径级 > 16 cm,银缕梅的种间竞争指数总和为 32.480,而当对象木径级 < 16 cm 时,种间竞争指数为 208.118,前者显著小于后者($t = -3.814, P < 0.01$)。

银缕梅的种间竞争除受竞争木大小和数量影响外,还与竞争木的种类有关(表 3)。由于有些种仅有 1~2 株,因而本文将这些植物合并计算。竞争力最大的为银缕梅,竞争指数为 106.588,其次为紫弹朴,竞争指数为 43.843。万佛山银缕梅的种内及主要伴生种种间的竞争顺序依次为银缕梅>紫弹朴>青冈>黄连木>朴树>枫香>薄叶润楠。

表 2 对象木银缕梅种内、种间竞争强度
Table 2 Intraspecific and interspecific competition intensity of *Parrotia subaequalis*

径级 (cm)	种内竞争			种间竞争		
	株数	竞争 指数	平均竞争 指数	株数	竞争 指数	平均竞争 指数
4~8	216	94.671	0.438	405	101.415	0.250
8~12	22	10.290	0.468	118	59.479	0.504
12~16	4	1.249	0.312	48	47.224	0.984
16~20	1	0.379	0.379	17	17.033	1.002
>20	0	0	0	16	15.447	0.965
合计	243	106.589	—	604	240.598	—

表 3 竞争木的种类组成和竞争强度
Table 3 Species composition of competitive tree and the competition intensity

种名	株数	比例 (%)	平均胸径 (cm)	竞争 指数	排序
银缕梅 <i>Parrotia subaequalis</i>	243	28.62	5.789	106.588	1
紫弹朴 <i>Celtis biondii</i>	74	8.72	7.240	43.843	2
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	80	9.42	6.581	26.323	3
黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	52	6.12	8.081	19.872	4
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	51	6.01	7.755	19.604	5
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	20	2.36	11.477	17.778	6
薄叶润楠 <i>Machilus leptophylla</i>	44	5.18	8.792	12.610	7
黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	26	3.06	5.803	10.650	8
榉树 <i>Zelkova schneideriana</i>	24	2.83	7.024	8.451	9
豺皮樟 <i>Litsea coreana</i>	18	2.12	7.123	8.227	10
华瓜木 <i>Alangium chinense</i>	13	1.53	8.558	7.315	11
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	15	1.77	12.181	6.795	12
香果树 <i>Emmenopterys henryi</i>	7	0.82	11.520	6.136	13
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	6	0.71	18.913	5.678	14
牛鼻栓 <i>Fortunearia sinensis</i>	23	2.71	4.992	4.551	15
白蜡树 <i>Fraxinus chinensis</i>	11	1.30	7.763	3.794	16
紫楠 <i>Phoebe sheareri</i>	10	1.18	5.213	3.119	17
野漆树 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	7	0.82	4.997	2.922	18
茅栗 <i>Castanea seguinii</i>	6	0.71	13.217	2.870	19
山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	16	1.88	5.061	2.561	20
石楠 <i>Photinia serrulata</i>	12	1.41	5.345	2.445	21
天竺桂 <i>Cinnamomum japonicum</i>	3	0.35	9.549	2.369	22
化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	3	0.35	10.345	1.850	23
映山红 <i>Rhododendron simsii</i>	5	0.59	4.647	1.590	24
华桑 <i>Morus cathayana</i>	4	0.47	7.846	1.447	25
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	3	0.35	14.324	1.405	26
鹅耳枥 <i>Carpinus tureczaninowii</i>	8	0.94	10.544	1.372	27
白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	3	0.35	9.667	1.191	28
野梧桐 <i>Mallotus japonicus</i>	5	0.59	8.626	1.042	29
赛山梅 <i>Styrax confusa</i>	5	0.59	6.939	0.983	30
柘树 <i>Maclura tricuspidata</i>	5	0.59	8.817	0.923	31
青灰叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	5	0.59	5.411	0.702	32
华东野核桃 <i>Juglans mandshurica</i>	4	0.47	4.615	0.692	33
秀丽槭 <i>Acer elegantulum</i>	3	0.35	5.719	0.474	34
宁波溲疏 <i>Deutzia ningpoensis</i>	3	0.35	4.102	0.413	35
其他 20 种伴生种	32	3.77	6.223	8.602	—
合计	849	—	—	347.187	—

2.3 不同生境下银缕梅种内与种间竞争

银缕梅种群主要分布于沟谷溪涧和山坡阔叶林中,林下常有岩石裸露。根据生境的不同,在沟谷和山坡处分别选择对象木 20 和 24 株。山坡生境下银缕梅共有 178 株,而沟谷生境下银缕梅仅有 65 株(表 4),前者比后者多 113 株,可见山坡生境下银缕梅个体数量较多。

表 4 不同生境下竞争木银缕梅的胸径分布和种内竞争强度
Table 4 DBH distribution and intraspecific competition intensity of *Parrotia subaequalis* in different habitats

径级 (cm)	沟谷			山坡		
	株数	竞争 指数	平均竞争 指数	株数	竞争 指数	平均竞争 指数
4~8	56	26.262	0.469	160	68.375	0.427
8~12	8	4.925	0.616	14	5.365	0.383
12~16	1	0.862	0.862	3	0.387	0.129
16~20	0	0	0	1	0.379	0.379
>20	0	0	0	0	0	0
合计	65	32.049	-	178	74.506	-

表 5 不同生境下竞争木非银缕梅的胸径分布和种间竞争强度
Table 5 DBH distribution and interspecific competition intensity of non-*Parrotia subaequalis* in different habitats

径级 (cm)	沟谷			山坡		
	株数	竞争指数	平均竞争指数	株数	竞争指数	平均竞争指数
4~8	97	36.272	0.374	308	64.444	0.209
8~12	41	29.549	0.721	77	29.778	0.387
12~16	19	31.175	1.470	29	16.049	0.553
16~20	3	6.806	2.269	14	10.227	0.731
>20	5	5.176	1.035	11	10.271	0.934
合计	165	108.978	-	439	130.769	-

不同生境下,除了个体数量不同外,银缕梅的种内与种间竞争强度也不相同。首先,山坡生境下银缕梅的种内竞争强度为 74.506,沟谷生境下银缕梅的种内竞争强度为 32.049,前者为后者的两倍多,可见山坡生境下银缕梅面临的种内竞争强度较大。其次,山坡生境下对象木银缕梅的种间竞争指数为 130.769,沟谷生境下为 108.978,前者也明显大于后者,这表明山坡生境下银缕梅面临的种间竞争强度较大(表 5)。此外,两种生境下均是小径级(4 cm ≤ DBH ≤ 8 cm)银缕梅面临的种内、种间竞争强度最大。

2.4 对象木银缕梅胸径与竞争指数的关系及其预测

森林群落中植物竞争能力受到多种因素的影响,包括生物和非生物因素。除了树种的生态习性、生活型和生态幅度外,生物因素中的个体胸径对竞争的影响通常较大。对竞争指数和对象木胸径的关系进行回归拟合的结果表明:首先,整个林分、伴生树种和种内的竞争指数与对象木胸径之间拟合优度较好,其中幂函数的显著性水平平均达到极显著,拟合优度也最大(表 6)。故选择幂函数关系,即 $CI = AD^B$ 。其中的 CI 为竞争指数, D 为对象木胸径, A 、 B 分别为模型参数。其次,根据上述模型对对象木胸径与整个林分以及不同生境下(沟谷和山坡)对象

木胸径与林分的竞争指数之间的关系进行分析。结果表明,不论是沟谷还是山坡生境下,随着对象木胸径的增大,竞争指数均逐渐变小。对象木银缕梅胸径 < 16 cm 时受到的竞争强度较大;对象木银缕梅胸径 > 16 cm 时,竞争强度较小(图 2)。

经检验,所有幂函数已经达到极显著的水平,可以用于预测其种内、种间的竞争强度(表 7)。模型的幂为负值,表明对象木胸径越大,竞争指数越小,与周围树种的竞争压力就越小。当对象木胸径 > 16 cm 时,所受到的竞争强度较小;对象木胸径 < 16 cm 时,受到的竞争强度较大,这与前面的调查结果一致(表 2)。

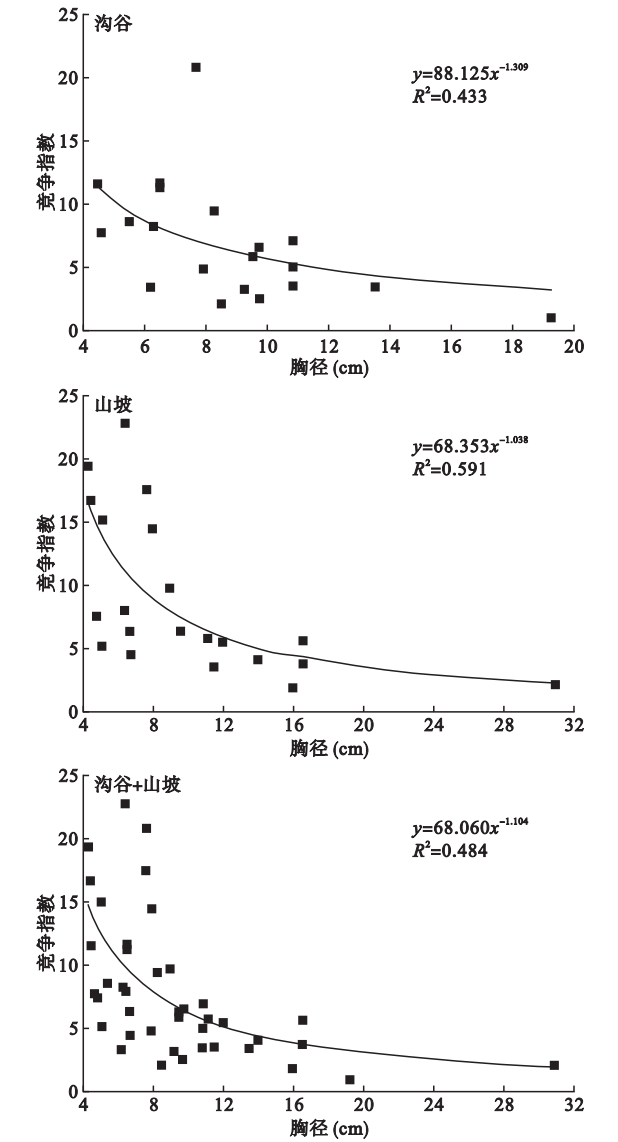


图 2 对象木银缕梅胸径与林分的竞争指数关系
Fig.2 Relationship between DBH of objective tree *Parrotia subaequalis* and competition index of the stand

表 6 竞争指数和对象木的回归模型参数
Table 6 Parameters of regressive model between CI and DBH of objective trees

模型	银缕梅与整个林分				银缕梅与伴生树种				银缕梅种内			
	A	B	R ²	显著性	A	B	R ²	显著性	A	B	R ²	显著性
CI=A+B×D	14.005	-0.618	0.294	P<0.001	8.635	-0.347	0.160	P<0.001	5.023	-0.243	0.134	P<0.05
CI=A+BlnD	24.631	-7.715	0.378	P<0.001	14.245	-4.142	0.182	P<0.001	9.528	-3.174	0.182	P<0.001
CI=AD ^B	68.06	-1.104	0.484	P<0.001	22.276	-0.812	0.186	P<0.001	19.426	-1.271	0.193	P<0.001

表 7 银缕梅种内、种间竞争强度与对象木胸径的模型预测
Table 7 Model prediction of interspecific and intraspecific competition intensity and DBH

胸径 (cm)	银缕梅与 整个林分	银缕梅与 伴生树种	银缕梅与 种内
4~8	10.792	5.672	3.726
8~12	5.617	3.539	2.471
12~16	3.784	2.653	1.585
16~20	2.840	2.150	1.388
20~24	2.265	1.822	1.059
24~28	1.878	1.588	0.984

3 讨 论

3.1 银缕梅与周围林木的竞争关系

本研究结果显示,安徽万佛山自然保护区珍稀濒危植物银缕梅的竞争压力主要来自种间,即他疏作用大于自疏作用,这主要与该种在研究区域内分布较为分散且种群数量相对较少有关。这一现象与云南红豆杉、宝华玉兰、大别山五针松等珍稀植物的种内、种间竞争状况较为相似(蒋国梅等,2010;李帅锋等,2013;项小燕等,2015)。现实林分中,与银缕梅竞争激烈的树种主要有紫弹朴、青冈、黄连木、朴树、枫香、薄叶润楠等,而其他树种与其竞争相对较弱。通过对整个林分的竞争指数与对象木胸径的拟合发现,整个林分的竞争指数与对象木胸径的关系更近似符合幂函数模型。由银缕梅竞争指数与对象木的胸径幂函数回归曲线可以看出,随着其胸径的不断增大,银缕梅所受的竞争压力逐渐减小,竞争强度与对象木胸径符合 $y=68.06x^{-1.104}$ 幂函数关系。

3.2 不同生境下银缕梅的种内、种间竞争强度

不同生境下银缕梅的种群数量、种内与种间竞争强度存在明显的差别。在山坡生境下,银缕梅的株数明显多于沟谷。并且,在山坡生境下,银缕梅的种内与种间竞争强度均大于沟谷(表 4、表 5)。已有研究表明,银缕梅由于对水分的生理需求较大,主要分布于 500 m 以下山坡以及沟谷附近(Yue *et al.*, 2006;Li *et al.*, 2015)。本研究结果表明,与沟谷生境相比,山坡生境下的阔叶林中分布的银缕梅数量

相对较多,其面临的竞争压力也更大。这可能与沟谷生境雨水冲刷较为严重,岩石裸露较多,植株更难定植而出现较多萌生植株有关。这与青冈和朴树在亚热带山区的沟谷生境条件下的分布原因相类似(陈小勇等,1997;高邦权等,2005)。此外,尽管在两种生境条件下,银缕梅种群的竞争压力均主要来自种间竞争,但是两者的主要竞争树种存在一定的差异。在山坡生境下,银缕梅的主要竞争树种主要为银缕梅、紫弹朴、青冈、牛鼻栓(*Fortunearia sinensis*)等植物;而在沟谷生境下,银缕梅的主要竞争树种主要为银缕梅、薄叶润楠、青冈等植物。

因此,对于分布于不同生境类型中的珍稀树种,在研究其群落的种内与种间竞争强度时,应该考虑生境条件的不同而分别进行取样。以银缕梅为例,通过在不同生境中分布,可以有效扩展植物种群的分布范围,在一定程度上可以避免与单一生境下伴生树种的竞争强度,因而在总体上有利于增强种群的生态适应性。但森林群落中植物的竞争强度不仅受到环境因素的制约,也同时受到生物因素的影响。最近的研究表明,森林群落中即便是植物指示种,其环境表征意义与实际环境因子也并不完全一致(Kusbach *et al.*, 2015)。但森林群落中同一树种因生境不同其竞争强度很可能不同,而不同生境下树种的种内与种间竞争大小是否一致尚有待于进一步研究。

3.3 对银缕梅种群的保护建议

对万佛山银缕梅种群产生种间竞争的树种较多,共计有 55 种 849 株。尽管不同生境下的竞争木种类存在一定的差异,但是其主要竞争树种均较为集中(表 3、表 5)。另外,我们在野外调查过程中发现,在龙潭、皂角冲等地的局部山地阔叶林中,可能由于银缕梅树种为小乔木(Zhang *et al.*, 2003),生长相对缓慢,其邻近的伴生树种如青冈、朴树、黄连木、化香(*Platycarya strobilacea*)等生长较快而导致银缕梅植株出现枯死。因此,根据银缕梅野生植株的生存现状和其竞争关系,有必要对其生境进行适度干

扰,对于胸径<16 cm的野生植株所在群落,可以考虑选择部分地段进行人工去杂,砍伐一些竞争力较强的树种,给予其更多的生存空间;并结合必要的人工抚育,更好地保存银缕梅的种质资源。

致谢 感谢彭仙丽等同学对野外工作的大力协助!

参考文献

- 巢林,洪滔,李键,等. 2015. 不同林龄、径级杉木人工林种内竞争规律. 浙江农林大学学报, **32**(3): 353–360.
- 陈仁飞,姬明飞,关佳威,等. 2015. 植物对称性竞争与非对称性竞争研究进展及展望. 植物生态学报, **39**(5): 530–540.
- 陈小勇,宋永昌. 1997. 洪水干扰对青冈种群更新的影响. 热带亚热带植物学报, **5**(1): 53–58.
- 陈永刚,汤孟平,杨春菊,等. 2015. 天然毛竹林竞争空间关系分析. 植物生态学报, **39**(7): 726–735.
- 杜峰,梁宗锁,胡莉娟. 2004. 植物竞争研究综述. 生态学杂志, **23**(4): 157–163.
- 高邦权,张光富. 2005. 南京老山国家森林公园朴树种群结构与分布格局研究. 广西植物, **25**(5): 406–412.
- 龚滨,夏洋洁,张光富,等. 2012. 中国特有珍稀濒危树种银缕梅种群结构和空间分布. 生态与农村环境学报, **28**(6): 638–646.
- 国家林业局. 2009. 中国重点保护野生植物资源调查. 北京: 中国林业出版社.
- 蒋国梅,孙国,张光富,等. 2010. 特有濒危植物宝华玉兰种内与种间竞争. 生态学杂志, **29**(2): 201–206.
- 李帅锋,刘万德,苏建荣,等. 2013. 滇西北金沙江流域云南红豆杉群落种内与种间竞争. 生态学杂志, **32**(1): 33–38.
- 孙善文,章永江,曹坤芳. 2014. 热带季雨林不同小生境大戟科植物幼树的叶片结构、耐旱性和光合能力之间的相关性. 植物生态学报, **38**(4): 311–324.
- 汪松,解炎. 2004. 中国物种红色名录(第一卷). 北京: 高等教育出版社.
- 王薇,饶米德,陈声文,等. 2014. 负密度制约和生境过滤对古田山幼苗系统发育多样性时间变化的影响. 科学通报, **59**(19): 1844–1850.
- 王立龙,王亮,张丽芳,等. 2015. 不同生境下濒危植物裸果木种群结构及动态特征. 植物生态学报, **39**(10): 980–989.
- 王林林,唐坚强,张光富,等. 2012. 南京朴树林竞争强度及其群落稳定性研究. 生态与农村环境学报, **28**(6): 654–660.
- 项小燕,吴甘霖,段仁燕,等. 2015. 大别山五针松种内和种间竞争强度. 生态学报, **35**(2): 389–395.
- 印红. 2013. 中国珍稀濒危植物图鉴. 北京: 中国林业出版社.
- 于永福. 1999. 中国野生植物保护工作的里程碑——《国家重点保护野生植物名录(第一批)》出台. 植物杂志, **5**(4): 3–11.
- 张莉,陆畅,李晓红,等. 2012. 皇藏峪国家自然保护区青檀种群年龄结构及种内、种间竞争. 上海交通大学学报: 农业科学版, **30**(1): 34–40.
- Tilman D. 2010. 种间竞争与物种共存// May R, McLeana A. 理论生态学:原理及应用. 第3版. 陶毅,译. 北京: 高等教育出版社.
- Fraver S, D'Amato AW, Bradford JB, et al. 2014. Tree growth and competition in an old-growth *Picea abies* forest of boreal Sweden: Influence of tree spatial patterning. *Journal of Vegetation Science*, **25**: 374–385.
- Hegy F. 1974. A simulation model for managing Jack-pine stands. *Growth Models for Tree and Stand Simulation*, **30**: 74–90.
- Kusbach A, Shaw JD, Long JN. 2015. Discriminant analysis reveals limited association between forest habitat types and the environment in western United States land classification. *Applied Vegetation Science*, **18**: 158–168.
- Li J, Del Tredici P. 2008. The Chinese Parrotia: A sibling species of the Persian Parrotia. *Arnoldia*, **66**: 2–9.
- Li W, Zhang GF. 2015. Population structure and spatial pattern of the endemic and endangered subtropical tree *Parrotia subaequalis* (Hamamelidaceae). *Flora*, **212**: 10–18.
- Maleki K, Kiviste A, Korjus H. 2015. Analysis of individual tree competition on diameter growth of Silver Birch in Estonia. *Forest Systems*, **24**: 1–13.
- Yue CL, Jin SH, Chang J, et al. 2006. Response of photosynthesis in *Shaniodendron subaequale* to soil water status. *Annales Botanici Fennici*, **43**: 389–393.
- Zhang ZY, Zhang HD, Endress PK. 2003. Flora of China Vol. 9 (Hamamelidaceae). Beijing: Science Press.

作者简介 张光富,男,1970年生,博士,副教授,主要从事珍稀植物保护研究. E-mail: zhangguangfu@njnu.edu.cn
责任编辑 张敏