文章编号:1001-1498(2016)02-0209-07

云南松天然林的种内和种间竞争

黄小波，刘万德，苏建荣*，李帅锋，郎学东

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所,云南 昆明 650224)

摘要:[**目的**]通过对云南松天然林内云南松种内和种间竞争强度的测定,分析揭示竞争强度在云南松群落内的动态变化规律及云南松种群的生态适应机制。[**方法**]在云龙天池自然保护区云南松天然林设置样方进行群落学调查的基础上,采用 Hegyi 单木竞争指数模型,以云南松为对象木,定量分析林分、对象木、竞争木的竞争强度,采用回归分析方法建立对象木胸径与林分、种内、种间竞争强度的函数模型。[**结果**]天池自然保护区云南松天然林的种内和种间竞争强度分别为 80.16% 和 19.84%;云南松种内与主要伴生树种种间竞争强度大小顺序为:云南松种内 > 水红木 > 华山松 > 米饭花 > 大白花杜鹃 > 槲栎 > 马缨花 > 旱冬瓜;云南松与整个林分、伴生树种以及种内的竞争强度与对象木胸径之间存在显著负相关关系,对象木胸径越大,其竞争能力越强。[**结论**]云南松天然林内云南松的竞争压力主要来自种内竞争;林分种内及种间竞争强度与对象木胸径间存在 $CI = AD^{-B}$ 形式的幂函数关系;胸径 20 cm 以上云南松的竞争压力变化趋于平缓,胸径 20 cm 以下的云南松中、幼林是抚育管理的重点林分。

关键词:云南松;种内竞争;种间竞争;竞争指数

中图分类号:S791.257 **文献标识码:**A

Intraspecific and Interspecific Competition of *Pinus yunnanensis* Natural Forest

HUANG Xiao-bo, *LIU Wan-de*, *SU Jian-rong*, *LI Shuai-feng*, *LANG Xue-dong*

(Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: [**Objective**] By investigating the intraspecific and interspecific competition of *Pinus yunnanensis* natural forest in Tianchi Natural Reserve of Yunlong County, Yunnan Province to reveal the rule of dynamic changes of intensity of competition within the community and the ecological adaptation mechanism of *P. yunnanensis*. [**Method**] Based on survey of substantial community plots, the competition intensity of forest stand, objective trees, competitive trees were analyzed by using Hegyi individual competitive indices (*CI*) model. The function model between DBH and the whole competition, intraspecific competition, interspecific competition were established by regression analysis method. [**Result**] The intraspecific and interspecific competition intensity of *P. yunnanensis* accounted for 80.16% and 19.84% in the total competition intensity, respectively, indicating that the competitive trees of *P. yunnanensis* natural forest were mainly come from intraspecific competition. The order of the intraspecific and interspecific competition intensity of the main accompanying species at the community level was: intraspecific > *Viburnum cylindricum* > *P. armandii* > *Lyonia ovalifolia* > *Rhododendron decorum* > *Quercus aliena* > *Rhododendron delavayi* > *Alnus nepalensis*. [**Conclusion**] There was a significantly negative correlation between the competition index of *P. yunnanensis* with the whole forest, accompanying species, intraspecific and the DBH of the objective trees, and nearly conformed to power function ($CI = AD^{-B}$). The larger the DBH of the objective trees, the smaller

收稿日期: 2015-10-27
基金项目: 林业公益性行业科研专项经费(201404211)
作者简介: 黄小波(1987—),男,安徽人,博士研究生. 主要研究方向:恢复生态学.
* 通讯作者. E-mail: jianrongsu@vip.sina.com

the competitive trees in *P. yunnanensis* natural forest. The results predicted by the model is that when the DBH of *P. yunnanensis* is larger than 20 cm, the competitions will be less in intensity. The medium and young forests of *P. yunnanensis* with DBH below 20 cm should be the focus of tending and management.

Keywords: *Pinus yunnanensis*; intraspecific competition; interspecific competition; competition index

竞争是指2个以上的有机体之间在同一生境中存在的负相互作用的关系,是植物之间常见的一种现象[1],影响着植物的形态以及植物的生长和生存[2],同时对于种群的结构组成、动态变化、种群的空间分布格局和群落的生物多样性程度都会产生不同的影响[3]。种内竞争是指植物在整个生活史中与同种个体之间发生的对于环境资源和空间的竞争。除种内竞争外,不同种植物个体间也会产生竞争,称之为种间竞争[4]。植物间的竞争关系,一直被认为是研究植物生长、种群的特征和动态变化、群落的演替规律和生态系统生产力的关键问题[5-6],是研究植物种群生态学研究的核心问题之一。自20世纪60年代以来,很多学者为将植物之间的竞争关系量化,并针对不同的物种,先后提出了多种竞争指数系统[7-9]。竞争指数的实质反映了植物对环境资源的需求与现实生境下植物对环境资源占有量之间的矛盾。目前,对林木竞争方面的研究较多,主要集中在部分濒危植物的种内、种间竞争关系[3-4]、针叶林和阔叶林的种内、种间竞争关系[9-10]以及植物种群不同竞争模型的探讨[11],并强调外界因素,如择伐对种内和种间竞争的影响[12-13]。

云南松(*Pinus yunnanensis* Franch.)主要分布于我国西南地区,具有重要的社会经济效益[14]。20世纪六七十年代以来,大面积的云南松天然林遭到人为破坏,现有的云南松林分多为退化的云南松次生林或人工林,原始林面积已大幅缩小[15]。目前,学者们对云南松林进行的大量研究主要集中在径级结构[16]、生长过程和生长模型[17]、种群更新[18]及空间结构[19]等方面,关于云南松自然种群竞争关系的研究至今鲜见报道。本文采用Hegyi单木竞争指数模型[20]研究云南松自然种群的种内和种间竞争,旨在探讨云南松自然种群内及其与伴生树种之间的竞争关系,以期揭示云南松种群的生态适应机制以及云南松在群落内的动态变化,为云南松自然种群更好的保育、退化云南松生态系统的恢复与重建以及云南松林的合理经营及利用提供理论依据。

1 研究区概况

野外调查选择在天池国家级自然保护区内进行,该保护区位于云南省大理州云龙县境内(25°49′48″～26°14′16″N,99°11′36″～99°20′34″E),保护区内有保护完好的云南松原始森林生态系统。全区干湿季分明,年均气温13.2℃左右,年均降水量815.5 mm左右。保护区山体较大,海拔和相对高差(海拔为2 100.0～3 638.9 m)致使保护区及附近地区气候垂直差异显著,从龙马山山顶到澜沧江河谷,依次出现寒温带、中温带、暖温带、北亚热带、中亚热带、南亚热带等6个垂直气候带。本次野外调查地点选择在海拔2 500～2 900 m处,是云南松种群分布核心区。研究样地中,云南松林占绝对优势,为地带性植被,乔木主要以云南松、大白花杜鹃(*Rhododendron decorum* Franch.)、米饭花(*Lyonia ovalifolia* (Wall.) Drude)、马缨花(*Rhododendron delavayi* Franch.)、旱冬瓜(*Alnus nepalensis* D. Don)、高山栎(*Quercus semicarpifolia* Smith)、水红木(*Viburnum cylindricum* Buch.-Ham. ex D. Don)、多变石栎(*Lithocarpus variolosus* (Fr.) Chun)、槲栎(*Quercus aliena* BL)、华山松(*Pinus armandi* Franch.)等为主;灌木主要有老鸦泡(*Vaccinium fragile* Franch)、羊耳菊(*Inula cappa* (Buch.-Ham.) DC)、乌泡子(*Rubus parkeri* Hance)、野蔷薇(*Rosa multiflora* Thunb)、小叶忍冬(*Lonicera microphylla* Willd. ex Roem. et Schult)、金丝桃(*Hypericum monogynum* L.)、三颗针(*Berberis diaphana* Maxin)等;草本层主要有野草莓(*Fragaria vesca* L.)、野坝子(*Rabdosia coetsoides* C. Y. Wu)、云南兔儿风(*Ainsliaea yunnanensis* Franch.)、矮小沿阶草(*Ophiopogon bodinieri* Levl. var. *pygmaeus* Wang et Dai, var. nov)、野古草(*Arundinella anomala* Steud)等。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

2015年4月对云龙天池自然保护区大量踏查的基础上,选择云南松分布较为集中、生境基本一致

的区域进行样地调查。在云南松天然群落中,物种相对单一,云南松是绝对的优势种,其常见的主要木本伴生种有:川梨(*Pyrus pashia* Buch. - Ham. ex D. Don)、大白花杜鹃、多变石栎、高山锥(*Castanopsis delavayi* Franch.)、高山栎、槲栎、马缨花、米饭花等。共设置 28 块 20 m×20 m 的标准样地,在每块样地内选取云南松为对象木,测量其胸径、树高、坐标与冠幅等指标。以对象木为中心记录半径为 6 m 的样圆内所有树高(H) >1.3 m 的木本植物的种类,并测定其胸径、树高、坐标、冠幅等指标,调查时以样方左下角为坐标原点(0,0)测量所有对象木和竞争木的个体空间位置,坐标值直接用样方投影距离(m)表示[21]。

2.2　竞争强度和竞争范围的选择

不同的研究者在具体的研究中提出的单木竞争指数模型种类较多,但 Hegyi 提出的单木竞争模型预测效果最好,在研究中应用较多[2, 10],且所要求的调查数据在野外相对简单易行,数据较准确。本文采用该模型计算竞争强度,公式如下:

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

式中:CI 为竞争强度;N 为竞争木的株数;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。对于云南松种内和种间竞争强度的计算,首先计算出每株竞争木对对象木的竞争指数,然后将 N 株竞争木的竞争强度累加即得对象木种内和种间的竞争强度[8],CI 值越大,表示竞争强度越激烈。

整个林分对云南松的竞争强度计算公式如下:

$$CI_{林分} = \frac{1}{S}\sum_{i=1}^{S} CI_i$$

式中:$CI_{林分}$为整个林分对云南松(对象木)的竞争强度;CI_i 为竞争木对第 i 个对象木(云南松)的竞争强度;S 为对象木(云南松)的株数。

根据云南松径级分布和其个体在样地中的空间位置分布,确定对象木。竞争范围的确定参照刘方炎等[22]研究,以树冠接触和遮阴状况为依据确定。实地调查发现,云南松天然群落中,云南松的树冠最大宽度为 6 m 左右,因此,将竞争范围确定为 6 m。以对象木为中心,6 m 范围内的圆中所有被调查的物种确定为竞争木,对象木与竞争木之间的距离可根据二者的坐标位置计算而得。

2.3　数据处理

为了研究天池自然保护区云南松个体大小与竞争强度的关系,将对象木的胸径与竞争强度进行相关分析,以竞争强度为因变量,以对象木胸径为自变量,采用线性、多项式、幂函数、指数函数和对数函数对竞争强度与对象木的胸径之间的关系进行回归拟合。所有数据处理在 Excel 2010 和 SPSS 19.0 完成,显著度水平为 $\alpha = 0.05$。

3　结果与分析

3.1　云南松的种内竞争

本研究确定和调查云南松对象木 334 株,其中,最小胸径为 1.2 cm,最大胸径为 67.3 cm,平均胸径为 22.2 cm。表 1 表明:1 ~ 15、30 ~ 45 cm 径级的云南松个体所占比例较多,呈“偏峰曲线”分布,反映出云南松种群的稳定状态,且更新状况良好。云南松因种内竞争而产生自疏现象,表 1 表明:云南松种内竞争强度大致随径级的增大而减小。云南松种内竞争木共 7 986 株,种内竞争总强度为3 694.323,占总竞争强度的 80.16%,远大于种间竞争强度(914.088),反映出云南松的竞争压力主要来自种内。对象木径级在 1 ~ 20 cm 的个体占 53.59%,但所受到的竞争强度占种内竞争强度的 79.86%,说明幼龄个体承受的竞争压力最大,径级在 25 ~ 30 cm 时,云南松个体受到的种内竞争强度变大,为 5.970,这时种群通过二次自疏,在胸径超过 30 cm 时,降为 1.860,在径级 40 ~ 45 cm 时,种内竞争强度又出现峰值,峰值达 8.822,然后逐渐减小,种内竞争强度总体上呈随径级的增加而减少的趋势,这与云南松的实际情况基本相符。在云南松的整个生长阶段,发育初期的云南松个体胸径小,处于林冠下层,生存空间狭窄,且处于被压状态,周围的竞争木对其产生剧烈竞争,随着个体的发育,胸径不断增大,云南松个体的竞争能力在不断增强,尤其到了成熟阶段,保留下来的个体处于主林层,对资源和空间的占有使得周围的竞争木以及云南松均有适合自己的生存空间,竞争木对云南松的竞争强度逐渐减弱,并趋于稳定。另外,从表 1 还看出:61.52% 的云南松竞争木个体(1 ~ 10 cm)承担着 70.42% 的竞争强度。将径级分为 1 ~ 20 cm(Ⅰ),20 ~ 40 cm(Ⅱ),40 ~ 60 cm(Ⅲ),60 ~ 70 cm(Ⅳ)4 组,对 4 组径级对象木所受到的平均竞争强度进行方差及多重比较分析,结果表明:Ⅰ组与其它 3 组的差异均显著($P = 0.039$,$P = 0.046$,$P = 0.021$),Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组间均差异不显著。

表1 云南松天然林的对象木胸径分布和所受到的种内竞争强度

径级/cm	对象木		竞争木		竞争强度	平均竞争强度
	株数	百分比/%	株数	百分比/%		
1～5	57	17.07	2 430	30.43	1 406.996	24.684
5～10	65	19.46	2 483	31.10	1 194.562	18.378
10～15	33	9.88	999	12.51	207.762	6.296
15～20	24	7.19	353	4.42	140.916	5.872
20～25	21	6.29	131	1.64	56.931	2.711
25～30	15	4.49	176	2.20	89.553	5.970
30～35	25	7.49	170	2.13	46.510	1.860
35～40	29	8.68	408	5.11	220.633	7.608
40～45	22	6.59	422	5.28	194.083	8.822
45～50	15	4.49	202	2.53	68.980	4.599
50～55	10	2.99	125	1.56	43.331	4.333
55～60	9	2.69	68	0.85	15.685	1.743
60～65	7	2.10	16	0.20	7.778	1.111
65～70	2	0.60	3	0.04	0.603	0.302
合计	334	100.00	7 986	100.00	3 694.323	–

3.2 云南松的种间竞争

在生长过程中,云南松发生种内竞争的同时,也与周围其它伴生树种不断争夺营养和生存空间,且不同树种对云南松的竞争强度存在较大差异,伴生树种中竞争木共28种4 236株,竞争强度为914.088(表2),树种包括水红木、华山松、米饭花、大白花杜鹃、槲栎等。云南松的种间竞争强度仅占总竞争强度的19.84%,远远小于种内竞争(3 694.323)。

相比较而言,伴生树种中竞争力最大的是水红木,竞争强度为174.626,其次是华山松,竞争强度为135.576,米饭花与大白花杜鹃以及槲栎的竞争强度相当,分别为117.488、110.328、105.455,这三者中,米饭花虽然胸径较小,但数量众多,有744株;槲栎虽然个体数较少,但平均胸径最大,所以对云南松产生一定的生存威胁。其它树种像马醉木、野蔷薇、瑞香、平枝栒子、柃木和鹅掌柴,其个体数量很少,导致竞争强度均很小,几乎可以忽略不计。云南松种间竞争强度的大小顺序依次为水红木>华山松>米饭花>大白花杜鹃>槲栎>马缨花>旱冬瓜>川杨>多变石栎>高山栎>越桔>高山杜鹃>红桦>荚蒾>银木荷>四照花>蜡瓣花>地檀香>高山锥>球花石楠>厚皮香>三颗针>马醉木>野蔷薇>瑞香>平枝栒子>柃木>鹅掌柴。

表2 云南松天然林种间竞争竞争木的种类组成和竞争强度

种名	竞争木株数	百分比/%	平均胸径/cm	竞争强度	平均竞争强度	排序
水红木(*Viburnum cylindricum* Buch. –Ham. ex D. Don)	573	13.49	9.04	174.626	0.305	1
华山(松 *Pinus armandii* Franch.)	675	15.90	6.68	135.576	0.201	2
米饭花(*Lyonia ovalifolia* (Wall.) Drude)	744	17.53	3.29	117.488	0.158	3
大白花杜鹃(*Rhododendron decorum* Franch.	575	13.54	5.37	110.328	0.192	4
槲栎(*Quercus aliena* Bl.)	365	8.60	8.65	105.455	0.289	5
马缨花(*Rhododendron delavayi* Franch.)	500	11.78	6.63	99.000	0.198	6
旱冬瓜(*Alnus nepalensis* D. Don)	110	2.59	12.84	71.002	0.645	7
川杨(*Populus szechuanica* Schneid.)	147	3.46	6.01	35.207	0.240	8
多变石(栎 *Lithocarpus variolosus* (Fr.) Chun)	155	3.65	7.93	17.944	0.116	9
高山栎(*Quercus semicarpifolia* Smith)	77	1.81	10.02	14.995	0.195	10
越桔(*Vaccinium vitis-idaea* Linn.)	60	1.41	4.82	9.100	0.152	11
高山杜鹃(*Rhododendron lapponicum* (L.) Wahl.)	66	1.55	4.81	6.308	0.096	12
红桦(*Betula albosinensis* Burk.)	40	0.95	2.48	5.500	0.137	13
荚蒾(*Viburnum dilatatum* Thunb.)	29	0.68	4.06	4.052	0.140	14
银木荷(*Schima argentea* Pritz. ex Diels)	39	0.91	3.17	2.672	0.069	15
四照花(*Dendrobenthamia japonica* (DC.) Fang)	14	0.33	5.44	1.257	0.090	16
蜡瓣花(*Corylopsis sinensis* Hemsl.)	19	0.44	3.20	0.735	0.039	17
地檀香(*Gaultheria forrestii* Diels)	4	0.28	3.55	0.580	0.145	18
高山锥(*Castanopsis delavayi* Franch.)	5	0.12	7.48	0.512	0.102	19
球花石楠(*Photinia glomerata* Rehd. et Wils.)	8	0.19	4.34	0.512	0.064	20
厚皮香(*Ternstroemia gymnanthera* (Wight et Arn.) Beddome)	14	0.33	3.83	0.452	0.032	21
三颗针(*Berberis diaphana* Maxin.)	9	0.21	2.06	0.326	0.036	22
马醉木 *Pieris japonica* (Thunb.) D. Don ex G. Don	2	0.05	5.60	0.258	0.129	23
野蔷薇(*Rosa multiflora* Thunb.)	2	0.05	2.40	0.086	0.043	24
瑞香(*Daphne odora* Thunb.)	4	0.09	1.10	0.084	0.021	25
平枝栒子(*Cotoneaster horizontalis* Dcne.)	1	0.02	2.30	0.018	0.018	26
柃木 *Eurya japonica* Thunb.)	1	0.02	1.40	0.008	0.008	27
鹅掌柴(*Schefflera octophylla* (Lour.) Harms)	1	0.02	2.40	0.007	0.007	28
合计	4 236	100.00	–	914.088	–	–

3.3　竞争强度与对象木胸径的关系及其预测结果

植株的竞争能力取决于多种因素,如植株个体胸径的大小、生态幅的范围、个体所处的生长阶段等,诸多影响因子中,植株个体胸径的大小对林木竞争能力的影响最大[23]。对象木胸径与种内、种间和整个林分的竞争强度之间的回归分析结果(图 1)显示:整个林分、伴生树种及云南松种内的竞争强度与对象木的胸径之间存在极显著负相关关系,相关系数分别为 $r = -0.617$,$r = -0.343$,$r = -0.572$。

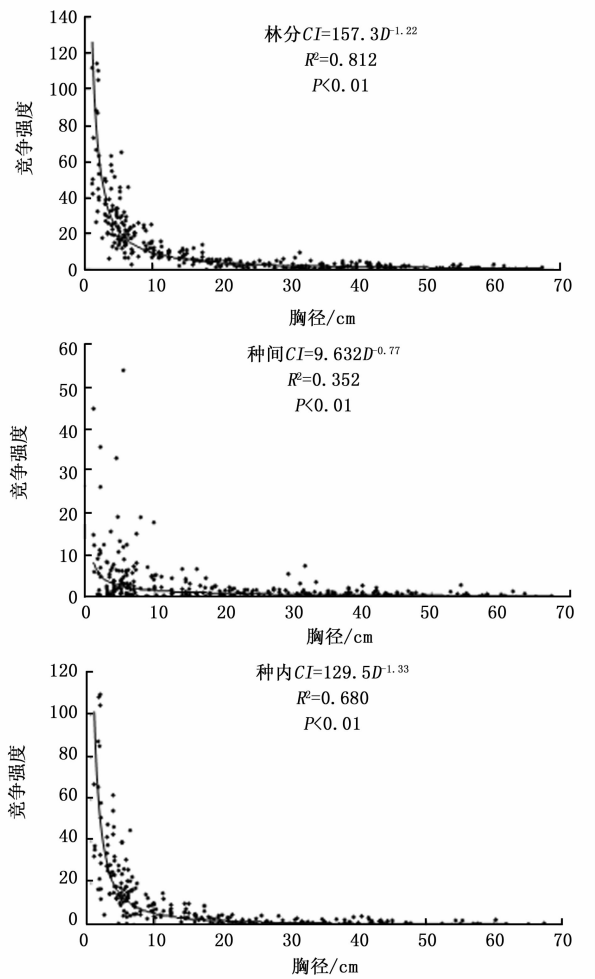

图 1　云南松个体胸径与整个林分、种间、种内竞争强度的幂指数回归曲线

在拟合中,幂函数的 R^2 较其它模型均最大,因此,幂函数为较优的回归模型(表 3),即:

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

式中:A 和 B 为模型的参数;在数据分析中得到;CI 和 D 分别为竞争强度和对象木胸径。整个林分、种间及云南松种内的竞争强度与对象木的胸径间的拟合方程分别为 $CI = 157.3D^{-1.22}$,$CI = 9.632D^{-0.77}$ 和 $CI = 129.5D^{-1.33}$(图 1)。通过对 334 株云南松对象木胸径与所受到的种内、种间及整个林分的竞争强度之间的关系发现:随着对象木胸径增大,竞争强度逐渐减少,当对象木胸径达到 20 cm 时,竞争强度逐渐趋于稳定。

表 3　竞争强度与对象木胸径不同拟合曲线 R^2

类型	不同函数拟合曲线 R^2				
	指数	线性	对数	多项式	幂函数
林分	0.703	0.376	0.622	0.544	0.812
种间	0.321	0.141	0.212	0.188	0.352
种内	0.607	0.314	0.531	0.463	0.680

因所有模型均达到显著水平,所以,将不同径级的云南松胸径 D 代入图 1 的模型中可以模拟和预测该胸径云南松的种内和种间竞争强度(表 4)。预测结果表明:不同径级云南松个体所受到的竞争强度,无论种内或种间或整个林分的竞争强度都随着云南松个体的增大而变小,当胸径 >20 cm 时,竞争强度变化不大,且趋于稳定,这与本文前面的研究一致。所得模型能够很好的预测云南松的种内和种间竞争。

表 4　云南松个体胸径与所受竞争强度的模型预测

胸径/cm	竞争强度		
	林分	种间	种内
5	22.079	2.789	15.228
10	9.478	1.636	6.057
15	5.780	1.197	3.532
20	4.069	0.959	2.409
25	3.099	0.808	1.791
30	2.481	0.702	1.405
35	2.056	0.623	1.145
40	1.747	0.563	0.958
45	1.513	0.514	0.819
50	1.330	0.474	0.712
55	1.184	0.440	0.627
60	1.065	0.412	0.559
65	0.966	0.387	0.502
70	0.882	0.366	0.455

4　结论与讨论

植物之间普遍存在的竞争现象主要表现为植物间对环境中资源和空间的争夺,如植物地上部分对光照的竞争,植物地下部分对土壤中营养元素、水分等的竞争[10]。本文运用 Hegyi 单木竞争指数模型很好地估计了云南松天然种群种内和种间的竞争强度。通过对 334 株对象木及 12 222 株竞争木的研究表明,在云南松天然林中,云南松种内竞争强度为

3 694.323,远大于种间竞争强度914.088,种间竞争强度相对较大的为水红木、华山松、米饭花、大白花杜鹃、槲栎等。云南松的竞争压力主要来自种内,说明在其群落动态变化中,自疏作用大于它疏作用。在影响林木竞争能力的因素中,生态习性越接近的植物物种,因为对资源和空间利用的相似性,往往种间的竞争更激烈,当一个物种占据生态系统的主导地位时,其竞争能力最强,所受到的竞争压力也最小[8]。云南松种内竞争结果与胡刚等[24]对青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.)及康华靖等[25]对香果树(*Emmenopterys henryi* Oliv.)的种内种间竞争关系的研究结果类似,都是种内竞争大于种间竞争。云南松为强阳性树种,在群落中占有绝对优势,同种个体数量多且生态习性更接近,因而种内竞争较大;其它伴生树种虽然种类较多,但数量少,尤其能进入林冠层的个体(如华山松)更少,且相距较远,因而种间竞争强度相对较小。云南松较为激烈的种内竞争从侧面反映了云南松种群聚集性的生态学特性,这种聚集分布有利于种间的共存[25],这也是云南松对环境长期适应的结果。

本研究采用多种数学回归方程对云南松竞争强度进行回归拟合,结果表明:云南松与整个林分、伴生种及云南松种内的竞争强度与对象木的胸径存在极显著负相关关系,对象木胸径与竞争强度的关系服从幂函数关系且幂为负数,说明对象木胸径大的个体,其受到的竞争强度小;反之,胸径小的个体受到的竞争强度最大,意味着在竞争中被淘汰的几率就大。通过对对象木胸径与竞争强度的模型预测,结果发现,随着云南松胸径的增大,其受到的竞争压力逐渐减弱,这与项小燕等[10]和李帅锋等[3]分别对大别山五针松(*Pinus dabeshanensis* Cheng et Law)和云南红豆杉(*Taxus yunnanensis* Cheng et L. K. Fu)的种内和种间竞争关系的研究结果类似。在云南松胸径达到20 cm之前,所受的竞争压力最大,当胸径达到20 cm之后,竞争压力显著下降,且随着胸径的继续增大,变化很小。产生这种现象的原因是云南松低龄级个体生长比较旺盛,对光、温、水、土等资源和空间的需求比较大,且低龄级个体处于群落的中下层,林冠处于被压状态,因此竞争较为激烈,随着龄级的增大,林冠逐渐定型,占据了一定的空间,且云南松中幼林林分密度较大。植株胸径小,密度大导致竞争压力大,且云南松自疏作用较强,这种以自疏为种群动态自动调节的作用加大了植株间的距离,竞争强度与植株间的距离成反比,从而降低了云南松种内竞争强度,且伴生物种的竞争强度也逐渐降低,云南松与伴生物种同时占据合适的生态位,从而能够相对稳定生长。这符合野外调查的实际情况。

根据模拟预测结果,在对云南松林的可持续经营中,建议在云南松胸径达到20 cm之前,应对其群落进行适当的抚育管理,以减缓云南松的竞争压力。具体做法为,首先确定保留木,在保留木6 m范围内,采取择伐竞争力强的竞争木,主要为云南松自身,特别是胸径为10 cm以下的云南松个体;另外,还有竞争力较强的一些伴生树种,如水红木、华山松、米饭花、大白花杜鹃等。这符合森林经营中的"间密留稀,去弱存强"的抚育原则,以促进云南松种群获得较大的生存空间和充足的水热资源条件,减少竞争木对生存空间和有限资源的占用,促使中小径级个体的正常生长,促进天然林的更新和云南松自然种群的保育。

参考文献:

[1] 杜 峰,梁宗锁,山 仑,等. 黄土丘陵区不同立地条件下猪毛蒿种内、种间竞争[J]. 植物生态学报, 2006, 30(4): 601-609.

[2] 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.

[3] 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]. 生态学杂志, 2013, 32(1): 33-38.

[4] 李 尤,苏智先,张素兰,等. 珙桐群落种内与种间竞争研究[J]. 云南植物研究, 2006, 28(6): 625-630.

[5] Cortini F, Comeau P G. Evaluation of competitive effects of green alder, willow and other tall shrubs on white spruce and lodgepole pine in Northern Alberta[J]. Forest ecology and management, 2008, 255(1): 82-91.

[6] 王晓霞,张钦弟,毕润成,等. 山西稀有濒危植物脱皮榆种内和种间竞争[J]. 生态学杂志, 2013, 32(7): 1756-1761.

[7] Bella I E. A new competition model for individual trees[J]. Forest Science, 1971, 17(3): 364-372.

[8] 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.

[9] 张 莉,陆 畅,李晓红,等. 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[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2012, 30(1): 34-40.

[10] 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.

[11] 黄新峰,亢新刚,杨 华,等. 5个林木竞争指数模型的比较[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2012, 40(7): 127-134.

[12] 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, 2010,20(9): 2179 - 2186.
[13] 贾呈鑫卓, 苏建荣, 李帅锋, 等. 择伐对思茅松天然林乔木种间与种内关系的影响[J]. 植物生态学报, 2015, 38(12): 1296 - 1306.
[14] 金振洲, 彭　鉴. 云南松[M]. 昆明: 云南科技出版社,2004.
[15] 李贵祥, 施海静, 孟广涛, 等. 云南松原始林群落结构特征及物种多样性分析[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(4): 396 - 400.
[16] 姜　磊, 陆元昌, 廖声熙, 等. 滇中高原云南松林分直径结构研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(1): 126 - 130.
[17] 廖声熙, 李　昆, 陆元昌, 等. 滇中高原云南松林目标树优势群体的生长过程分析[J]. 林业科学研究, 2009, 22(1): 80 - 84.
[18] 彭建松, 柴　勇, 孟广涛, 等. 云南金沙江流域云南松天然林林隙更新研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(2): 114 - 117.
[19] 袁凤军, 崔　凯, 廖声熙, 等. 滇中云南松天然林空间结构特征[J]. 西南农业学报, 2013, 26(3): 1223 - 1226.
[20] Hegyi F. A simulation model for managing jack-pine stands[J]. Growth models for tree and stand simulation, 1974(30): 74 - 90.
[21] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 344 - 349.
[22] 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.
[23] 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.
[24] 胡　刚, 梁士楚, 张忠华, 等. 桂林岩溶石山青冈栎种内与种间竞争的数量关系[J]. 西北林学院学报, 2008, 22(5): 32 - 36.
[25] 康华靖, 陈子林, 刘　鹏, 等. 大盘山香果树(*Emmenopterys henryi*)种内及其与常见伴生种之间的竞争关系[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3456 - 3463.

(责任编辑:张　玲)