

元宝山冷杉群落种内与种间竞争的数量关系

李先琨, 苏宗明, 欧祖兰, 宁世江, 唐润琴, 李瑞棠

(广西壮族自治区广西植物研究所, 广西 桂林 541006)
中国科学院

摘要: 元宝山冷杉(*Abies yuanbaoshanensis* Y. J. Lu et L. K. Fu)特产广西, 是种群数量极少的濒危物种。根据调查资料, 采用 Hegyi 提出的单木竞争指数模型 $CI = \sum_{j=1}^N (D_j/D_i) \cdot \frac{1}{L_{ij}}$ 对元宝山冷杉群落的种内、种间竞争强度进行定量分析。结果表明: 元宝山冷杉种内竞争较之与其伴生树种间的竞争剧烈; 竞争木对对象木的竞争强度与对象木的胸高直径服从幂函数关系 $CI = AD^B$, 竞争强度随对象木个体的增大而减小。当元宝山冷杉胸高直径达到 35~40 cm 后, 竞争强度变化不明显。利用模型预测了元宝山冷杉种内和种间的竞争强度。

关键词: 元宝山冷杉; 种间竞争; 种内竞争; 竞争指数

中图分类号: Q948.12⁺2.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2002)01-0020-05

On intraspecific and interspecific competition among *Abies yuanbaoshanensis* community LI Xian-kun, SU Zong-ming, OU Zu-lan, NING Shi-jiang, TANG Run-qing, LI Rui-tang (Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuangzu Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2002, 11(1): 20-24

Abstract: *Abies yuanbaoshanensis* Y. J. Lu et L. K. Fu is a rare and endangered plant, it is only found on Yuanbaoshan Mountain in Guangxi, China. By using Hegyi's competition index model for individual tree [$CI = \sum_{j=1}^N (D_j/D_i) \cdot \frac{1}{L_{ij}}$], the intraspecific and interspecific competition in *A. yuanbaoshanensis* community were investigated. The results show that intraspecific competition of *A. yuanbaoshanensis* is more intensive than interspecific competition. The competition intensity of competitive tree against objective tree and the size of objective tree fit power function $CI = AD^B$, and competition intensity decreases with the increase of the size of objective tree. The *CI* change is not significant when the DBH of *A. yuanbaoshanensis* reaches 35-40 cm. The model can simulate and predict the intraspecific and interspecific competition among *Abies yuanbaoshanensis* community in Guangxi.

Key words: *Abies yuanbaoshanensis* Y. J. Lu et L. K. Fu; intraspecific competition; interspecific competition; competition index

元宝山冷杉(*Abies yuanbaoshanensis* Y. J. Lu et L. K. Fu)是 20 世纪 70 年代发现的新种, 仅分布于广西融水县元宝山, 为古老的孑遗植物, 是第四纪冰川时期留下来的“活化石”; 它的发现, 对研究我国南方植物区系的发生和演化以及古地理、古气候具有很高的学术价值^[1]。元宝山冷杉是我国冷杉属(*Abies* Mill.)植物分布纬度较低的种类, 分布范围狭窄, 仅见于元宝山海拔 1 700~2 050 m 的中山针阔混交林内, 初步调查估计其种群成年个体约 100 余株, 数量稀少且天然更新不良, 是亟需保护的濒危物种, 被列为国家一级保护植物^[2]。对于这一濒危植物, 至今只有少数学者进行群落学和种群学的初步研究^[3-5]。

植物间的竞争作用是影响植物生长、形态和存活的主要因素之一, 因此, 植物的种内种间竞争的研究是植物生态学研究的核心问题^[6]。多数研究从竞争作用的效果入手, 通过度量群落结构和群落发展建立竞争模型, 研究植物间的竞争作用^[7], 然而, 许多研究者认为在群体水平分析竞争作用会掩盖较大个体的差异的影响^[8,9], 对于木本植物竞争的研究, 个体水平上的竞争模型主要有与距离有关的竞争模

收稿日期: 2001-06-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39960018); 广西自然科学基金资助项目(桂科自 9811013, 桂科配 0007008)

作者简介: 李先琨(1967-), 男, 广西临桂人, 大学, 副研究员, 从事植物生态学和保护生物学研究。

型^[10,11]。本文以元宝山冷杉林为研究对象,采用 Hegyi 的单木竞争指数模型,分析元宝山冷杉种内、种间的竞争指数和竞争强度,旨在探索元宝山冷杉种群内部及其伴生树种之间的相互关系,揭示种群的生态适应机理,为保护濒危物种并增加种群数量提供科学依据,同时也为营林及管理提供理论依据。

1 研究地自然条件与研究方法

1.1 自然条件及群落特征

调查研究地位于广西北部的融水县元宝山自然保护区(25°22' ~ 25°32' N, 109°7' ~ 109°13' E),是广西起源最古老的山体,为大苗山山脉的主峰之一,呈南北走向,属中山地貌,一般海拔 1 000 ~ 1 500 m,最高峰的蓝坪峰海拔为 2 081 m,最低处海拔为 285 m。该区的自然条件概况见已有报道^[3,12]。

元宝山冷杉分布在海拔 1 700 ~ 2 050 m 范围的中山针阔混交林内,以元宝山冷杉、南方铁杉(*Tsuga tchekiangensis* Flous)、南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei* Cheng et L. K. Fu)、青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca* Thb.)、木莲(*Manglietia fordiana* Oliv.)、红岩杜鹃(*Rhododendron haofui* Chun et Fang)、红皮木姜(*Listea pedunculata* Yang et Huang)、尾叶山茶(*Camellia caudate* Wall.)、杜鹃 1 种(*Rhododendron* sp.)为乔木层优势种,灌木层以箭竹[*Sinarundinaria nitida* (Mitford) Nakai]为主,草本以短药沿阶草(*Ophiopogon bockianus* var. *angustifolius* Wang et Tang)、苔草(*Carex* sp.)等种类为主,群落总盖度 95% 以上,其中乔木层郁闭度 0.85 以上,灌木层盖度 40% ~ 60%,草本层盖度 50% ~ 90%。林内湿度相当大,苔藓极为发达,附生现象突出,枯立木、枯倒树较多,地被物丰富。土壤为花岗岩发育的棕黄壤,覆盖度较小、岩石出露较多,土层浅(30 ~ 50 cm),质地疏松。元宝山冷杉林处于成熟的阶段,群落种类丰富而复杂,林分结构和组成均具有很高的稳定性。

元宝山冷杉群落垂直结构分为乔木层、灌木层、草本层。乔木层又可分为 3 个亚层,第 I 层林木高 15 m 以上,覆盖度约 75%,其中元宝山冷杉和南方铁杉占绝对优势,进入第 I 层的有南方红豆杉、木莲、大八角(*Illicium majus* HK. f. et Thoms.)、五尖槭(*Acer maximowiczii* Pax.)、青冈栎等种类;第 II 层林木高 7 ~ 15 m,覆盖度 75%,其中占优势的有红皮木

姜、杜鹃 1 种、元宝山冷杉、嘉宝山柳(*Clethra laipoensis* Lévl.)、青冈栎、木莲等,其他种类还有大八角、灯笼花(*Enkianthus chinensis* Fr.)等;第 III 层高 3 ~ 7 m,覆盖度 60%,植株胸径细小,一般 10 cm 左右,优势种为尾叶山茶、红皮木姜,次优势种为美丽马醉木、红岩杜鹃、嘉宝山柳等,有元宝山冷杉出现。

1.2 研究方法

1.2.1 外业调查 全面勘查元宝山冷杉分布状况,掌握其群落特征,选取有代表性的地段,设置 600 m²样方,在样地内选择元宝山冷杉(胸径 ≥ 7.5 cm)为对象木(objective tree),测量其胸径、树高、枝下高和冠幅并进行编号。根据群落内乔木树种冠幅大小和遮掩程度,确定以对象木为中心、半径 8 m 样圆内的所有乔木为竞争木(competitive tree),实测这些竞争木的胸径及与相应对象木之间的距离。

1.2.2 内业分析 单木竞争指数的研究较多,提出了许多模型,但以 Hegyi 的模型预测效果最好^[13,14],因此本研究采用 Hegyi 提出的单木竞争指数模型来计算竞争指数,计算式为:

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

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} 为对象木与竞争木之间的距离; N 为竞争木的株数。

首先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平均即得出元宝山冷杉种内及其与伴生树种间的竞争强度。

2 结果与分析

2.1 对象木与竞争木的测树因子特征

在 3 000 m²的样地内,共有对象木 36 株,最小胸径 12.0 cm,最大胸径 74.0 cm,平均 29.1 cm,对象木胸径大小近似服从正态分布(表 1)。

表 1 元宝山冷杉群落对象木的胸径分布
Table 1 DBH distribution of objective tree of *Abies yuanbaoshanensis* community

径级 Diameter scale (cm)	株数 Number	百分比 Percentage (%)	径级 Diameter scale (cm)	株数 Number	百分比 Percentage (%)
12 ~ 20	5	13.88	40 ~ 50	2	5.56
20 ~ 30	17	47.22	50 ~ 74	2	5.56
30 ~ 40	10	27.78	合计 Sum	36	100.00

元宝山冷杉群落为稳定的顶极群落,种类组成丰富,测得竞争木 37 种共 981 株(见表 2),平均每株对象木在半径为 8 m、面积 200.96 m²的样圆内有竞争木 13.39 种、27.25 株,多于重庆缙云山四川大头茶群落(竞争木种数共 15 种、每株对象木的竞争木平均 12.09 株)^[15]。

2.2 元宝山冷杉种内及其与伴生树种间的竞争

元宝山冷杉在生长过程中,不断与其本身发生

竞争关系,并因此产生自疏现象,因而其种内竞争强度随个体的增大而减小(表 3),由于林木自然稀疏而加大距离,种群调节而使个体间对光、热、水、土等资源的竞争性利用逐渐减弱,林木逐渐趋于均匀化而表现出各自相对的独立性。

由于种内个体间具有相同的生态习性和生态幅度,因而种内竞争比受伴生树种的竞争要剧烈。元宝山冷杉林内,南方铁杉是元宝山冷杉的主要伴生

表 2 元宝山冷杉群落内竞争木的种类组成及其竞争强度

Table 2 Species composition and competition intensity (CI) of competitive tree in *Abies yuanbaoshanensis* community

种类 Species	株数 Number	百分比(%) Percentage	竞争指数 CI Competition index	竞争指数排序 Ordination of CI
元宝山冷杉 <i>Abies yuanbaoshanensis</i> Y. J. Lu et L. K. Fu	89	9.07	20.851 1	1
杜鹃 1 种 <i>Rhododendron</i> sp.	98	9.99	12.670 4	3
红皮木姜 <i>Listea pedunculata</i> Yang et Huang	90	9.17	5.391 2	7
红岩杜鹃 <i>Rhododendron haofui</i> Chun et Fang	80	8.15	8.523 2	4
嘉宝山柳 <i>Clethra laipoensis</i> Lévl.	51	5.20	6.318 8	5
美丽马醉木 <i>Pieris Formosa</i> (Wall.) D. Don.	49	4.99	2.536 4	18
南方铁杉 <i>Tsuga tchekiangensis</i> Flous	47	4.79	13.725 6	2
尾叶山茶 <i>Camellia caudate</i> Wall.	44	4.49	2.311 2	19
大八角 <i>Illicium majus</i> HK. f. et Thoms.	43	4.38	5.453 3	6
灯笼花 <i>Enkianthus chinensis</i> Fr.	40	4.08	4.8253	10
南方红豆杉 <i>Taxus chinensis</i> var. <i>maire</i> Cheng et L. K. Fu	35	3.57	4.285 5	11
五尖槭 <i>Acer maximowiczii</i> Pax.	32	3.26	3.512 4	13
清香木姜子 <i>Listea euosma</i> W. W. Sm.	29	2.96	2.677 6	17
青蛤蟆 <i>Acer davidii</i> Fr.	27	2.75	2.808 4	16
青冈栎 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> Thb.	25	2.55	4.832 9	9
木莲 <i>Manglietia fordiana</i> Oliv.	25	2.55	4.968 6	8
细枝柃 <i>Eurya loquaiana</i> Dunn.	24	2.45	1.051 6	22
包果石栎 <i>Lithocarpus cleistocarpa</i> (Seem.) R. et W.	22	2.24	3.473 3	14
山桂花 <i>Osmanthus marginatus</i> (Champ. ex Benth.) Hensl.	19	1.94	2.837 2	15
木姜叶冬青 <i>Ilex litseaefolia</i> (Hu et Tang) S. Y. Hu	16	1.63	1.658 1	20
细柄黄叶五加 <i>Acanthopanax evodiaefolia</i> Fr. var. <i>gracilis</i> W. W. Sm.	14	1.43	3.591 0	12
南烛 <i>Lyonia ovalifolia</i> (Wall.) Drude	13	1.33	1.187 7	21
山矾 <i>Symplocos caudate</i> Wall.	11	1.12	1.029 8	23
白檀 <i>Symplocos paniculata</i> (Thb.) Miq.	10	1.02	0.498 3	25
棘叶吴茱萸 <i>Evodia meliaefolia</i> Benth.	8	0.82	0.496 0	26
粗榧 <i>Cephalotaxus sinensis</i> (Rehd. et Wils.) Li	8	0.82	0.311 6	29
短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i> Kob.	6	0.61	0.200 6	30
马蹄参 <i>Diplopanax stachyanthus</i> H.-M.	5	0.51	0.200 6	30
三花冬青 <i>Ilex triflora</i> Bl.	5	0.51	0.332 5	28
华西花楸 <i>Sorbus wilsoniana</i> Schneid.	4	0.41	0.441 5	27
美脉花楸 <i>Sorbus caloneura</i> (Stapf) Rehd.	4	0.41	0.642 0	24
东女贞 <i>Ligustrum japonicum</i> Thb.	2	0.20	0.156 2	32
刺叶冬青 <i>Ilex hylonoma</i> Hu et Tang var. <i>glabra</i> S. Y. Hu	2	0.20	0.091 6	34
新木姜子 <i>Neolistea aurata</i> (Hay.) Merr.	1	0.10	0.015 3	37
阔叶十大功劳 <i>Mahonia bealei</i> Carr.	1	0.10	0.030 3	36
刺叶桂樱 <i>Laurocerasus aponnulosus</i> (S. et Z.) Schneid.	1	0.10	0.108 5	33
毛萼红果树 <i>Stranvaesia amphidoxa</i> Schneid.	1	0.10	0.082 5	35
合计 Sum	981	100.00		

树种和竞争者(表 2), 虽然南方铁杉作为竞争木的个体数不及杜鹃、红皮木姜、红岩杜鹃、嘉宝山柳等种类, 但南方铁杉与元宝山冷杉共同作为群落上层的优势种, 重要值指数和生态位宽度均与元宝山冷杉不相上下, 在群落中与元宝山冷杉共同占据主要的生境空间和资源。从元宝山冷杉群落主要林木种群联结关系研究得出, 元宝山冷杉与上层林木共优种——南方铁杉生态习性相近, 生态位重叠值达 0.518 8; 两者正联结关系紧密, χ^2 值检验达极显著水平($\chi^2 = 7.473$)^①。杜鹃、红皮木姜、嘉宝山柳等作为乔木层 II、III 亚层的种类, 数量虽多、相对于上层的元宝山冷杉而言尚无法直接构成竞争优势。

元宝山冷杉种内及其与主要伴生树种间的竞争强度顺序为: 元宝山冷杉种内 > 南方铁杉 > 杜鹃 > 红岩杜鹃 > 嘉宝山柳 > 大八角 > 红皮木姜 > 木莲 > 青冈栎 > 灯笼花 > 南方红豆杉 > 细柄黄叶五加 > 五尖槭 > 包果石栎 > 山桂花 > 青蛤蟆 > 清香木姜子 > 美丽马醉木 > 尾叶山 > 木姜叶冬青 > 南烛 > 细枝栎 > 山矾(表 2)。研究表明, 元宝山冷杉群落内由于覆

盖度达 95%, 林内光照极弱, 各层片的乔木树种对光资源的竞争相当激烈, 即便是中下层乔木植物如大八角、尾叶山茶、杜鹃等同样要抢夺光资源。

表 3 元宝山冷杉种内竞争强度
Table 3 Intraspecific competition intensity of *Abies yuanbaoshanensis*

径级 Diameter scale (cm)	平均竞争指数 Average competition index	径级 Diameter scale (cm)	平均竞争指数 Average competition index
12~20	1.243 8	40~50	0.333 0
20~30	0.814 0	50~70	0.139 9
30~40	0.388 7		

2.3 竞争强度与对象木胸径的关系及其预测

竞争能力受多种因素制约, 除种的生态习性、生活型和生态幅度外, 个体胸径的大小对竞争能力的影响很大。通过多种数学模型结果进行回归分析, 表明元宝山冷杉个体(对象木)胸径与竞争指数(CI)之间具有显著的相关关系, 而更近似地服从幂函数关系, 达到极显著水平(表 4, 图 1), 可用于预测元宝山冷杉种内和种间的竞争强度(表 5)。

表 4 竞争指数与对象木胸径的回归模型参数
Table 4 Model and its parameters of CI and DBH of objective tree

模型 ¹⁾ Model ¹⁾	元宝山冷杉与整个林分 <i>Abies yuanbaoshanensis</i> and whole forest			元宝山冷杉与伴生树种 <i>Abies yuanbaoshanensis</i> and other trees			元宝山冷杉种内 Intraspecific			显著性 Significance
	A	B	R	A	B	R	A	B	R	
$CI = A + BD$	6.501 6	-0.104 0	-0.639 9	5.292 5	-0.082 3	-0.592 9	1.209 1	-0.021 7	-0.455 9	$\alpha = 0.05$
$CI = A + B \ln D$	15.451 1	-3.647 0	-0.673 9	13.291 6	-3.147 2	-0.680 4	3.305 4	-0.825 6	-0.521 5	$\alpha = 0.05$
$CI = AD^B$	200.776 2	-1.270 4	-0.809 0	114.672 1	-1.156 2	-0.773 6	69.006 1	-1.484 2	-0.627 2	$\alpha = 0.05$

¹⁾ CI: 竞争指数 competition index; D: 对象木胸径 DBH of objective tree; A、B: 模型参数 parameters of model; R: 相关系数 relativity coefficient.

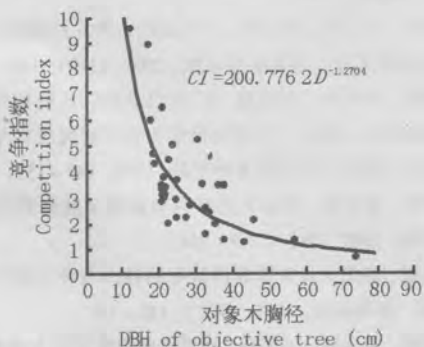


图 1 元宝山冷杉个体胸径与竞争的关系
Fig. 1 The relationship between DBH of objective tree and competition indices in *Abies yuanbaoshanensis* community

种间竞争强度随对象木个体增大而减小, 当对象木增大到一定程度(35~40 cm)后, 竞争强度变化不大。元宝山冷杉在生长发育初期阶段, 由于个体小, 林冠处于被压状态, 为了抢夺生存空间, 而与周围竞争木发生剧烈的竞争。随着个体生长发育, 其竞争能力逐渐增强, 尤其是到了成熟阶段, 个体处于主体层, 与周围竞争木和谐相处, 各自占据自己的生存营养空间, 以使其自由生长, 因而个体(种)之间的竞争减弱。

从表 5 的预测结果可看出, 元宝山冷杉种内和

^① 欧祖兰等. 元宝山冷杉群落主要树种种群间联结关系研究. 生态学杂志(待发表).

表 5 元宝山冷杉种间和种内竞争强度预测
Table 5 Model prediction of interspecific and intraspecific competition intensity among *Abies yuanbaoshanensis* community

胸径 Diameter (cm)	竞争指数 CI		
	元宝山冷杉与整个林分 <i>A. yuanbaoshanensis</i> and whole forest	元宝山冷杉与伴生树种 <i>A. yuanbaoshanensis</i> and other trees	元宝山 冷杉种内 Intraspecific
7.5	15.525 1	11.161 2	3.468 3
10	10.722 4	8.003 1	2.263 0
15	6.435 8	5.008 0	1.239 7
25	3.363 3	2.774 3	0.580 9
35	2.193 5	1.880 2	0.352 5
40	1.851 2	1.611 2	0.289 1
45	1.593 9	1.406 1	0.242 7
55	1.235 3	1.194 9	0.180 2
65	0.999 0	0.919 1	0.140 7
75	0.833 0	0.779 0	0.113 7

3 结论与讨论

元宝山冷杉是在其分布区内经过亿万年的演化而形成的顶极群落,在生长发育过程中始终有阔叶树的发生,同时针叶树南方铁杉总是相伴出现,从而在一定程度上形成了竞争-协调-共生的关系。

元宝山冷杉的种内竞争强度大于种间竞争强度,在对种群动态的影响中,自疏作用大于他疏作用。竞争指数与对象木的大小存在显著的负相关关系,幂函数关系的相关系数要高于直线回归方程。

从预测结果可知,当对象木的胸径达到 35~40 cm 后,竞争强度变化不大,根据元宝山冷杉群落及种群的特点,提出有效的保护和合理经营元宝山冷杉的建议:(1)若要有效保护元宝山冷杉种群,必须使之与南方铁杉、杜鹃等树种混生,方有利于其种群的延续和扩展;(2)若要获得高产量的木材,在冷杉个体胸径达到 35 cm 之前,必须适当进行人工抚育和经营管理,此举将有利于冷杉个体的生长发育。

对于人工林中树木个体生长的竞争效应模型,有学者在 Hegyi 单木竞争指数基础上提出了改进模型,基于不同树种在竞争程度和方式上的差异,分别考虑了来自不同树种、外圈和内圈等因素,使模型的回归优度有较大提高,内圈林木的竞争来自地上和地下,外圈林木的竞争主要为地下^[16,17]。竞争指数同各种林分指标一样,也是对林分结构的度量,对于树木个体来说,其生长与周围的局部结构是直接相关的,如果一个空间竞争指数通过竞争模型能够与

树木的生长建立密切的相关关系的话,就能成为对树木个体与其相邻树木之间的竞争程度的间接度量。然而,对于像元宝山冷杉群落这类物种丰富、结构组成复杂的天然植被,分别考虑各树种的竞争指数分量、准确测度材积生长量都显得十分困难,从本研究及以往有关研究来看^[13-15],Hegyi 竞争模型仍不失为一种简便可行的方法。

参考文献:

- [1] 傅立国. 中国植物红皮书(第一册)[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 60.
- [2] 于永福. 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)[J]. 植物杂志, 1999, (5): 3-11.
- [3] 黄仕训, 王才明, 王 燕. 元宝山冷杉群落特征的初步研究[J]. 广西植物, 1996, 16(3): 239-246.
- [4] 谢 强, 覃干超, 黄家林. 元宝山冷杉群落主要木本种群的生态位分析[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 1998, 16(2): 79-85.
- [5] 潘百明, 覃干超. 元宝山冷杉种群结构和动态的初步研究[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 1998, 16(2): 86-91.
- [6] Bi H. Competition in mixed stands of *Pinus radiata* and *Eucalyptus obliqua* [J]. J Appl Ecol, 1996, 33(1): 87-99.
- [7] Ford E D, Sorrensen K. A theory and models of inter-plant competition as a spatial process [A]. DeAngelis D L, Louis J G. Individual-based Models and Approaches in Ecology [M]. New York: Chapman & Hall, 1992. 363-407.
- [8] Harper J L. Population biology of plants [M]. London: Academic Press, 1977.
- [9] Weiner J. Neighborhood interference amongst *Pinus rigida* individuals [J]. J Ecol, 1984, 72(1): 183-195.
- [10] 张越西. 邻体干扰模型的改进及其在营林中的应用[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(4): 352-357.
- [11] 关玉秀, 张守攻. 竞争指标的分类及评价[J]. 北京大学学报, 1992, 14(4): 1-7.
- [12] 李先琨, 黄玉清, 苏宗明. 元宝山南方红豆杉种群的分布格局及动态研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 169-172.
- [13] 马建路, 李君华, 赵惠勋, 等. 红松老龄林红松种内间竞争的数量研究[A]. 祝 宁. 植物种群生态学研究现状与进展[C]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1994. 147-153.
- [14] 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.
- [15] 金则新. 四川大头茶在其群落中的种内与种间竞争的初步研究[J]. 植物研究, 1997, 17(1): 110-118.
- [16] 王政权, 吴巩固, 王军邦. 利用竞争指数评价水曲柳落叶松种内种间空间竞争关系[J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 641-645.
- [17] 吴巩固, 王政权. 水曲柳落叶松人工混交林中树木个体生长的竞争效应模型[J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 646-650.

(责任编辑: 惠 红)