

## 北京山区天然侧柏林种内竞争研究

史 宇<sup>1</sup> 余新晓<sup>1</sup> 岳永杰<sup>1</sup> 王小平<sup>2</sup> 秦永胜<sup>2</sup> 陈俊崎<sup>2</sup>

(1 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京林业大学水土保持学院 2 北京市园林绿化国际项目合作管理办公室)

**摘要:** 该文采用逐步扩大范围的方法确定影响对象木的最佳竞争范围, 利用 Hegyi 单木竞争指数对锥峰山林场天然侧柏种内竞争强度进行了定量分析, 并与典型人工侧柏林种内竞争强度进行对比分析。结果表明: 在天然侧柏群落中对象木的最佳竞争距离为 5 m; 天然侧柏的种内竞争强度随着林木径级的增大而减小; 竞争指数与对象木胸径服从幂函数关系, 从模型预测结果可知当侧柏胸径达 20 cm 以上时, 竞争强度变化很小; 与天然侧柏林相比, 人工侧柏林的种内竞争强度较小, 群落年龄结构不够合理。

**关键词:** 天然侧柏林; 种内竞争; 竞争范围; 竞争指数; 人工侧柏林

**中图分类号:** S718 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1522(2008)增刊 2-0036-05

SHI Yu<sup>1</sup>; YU Xin-xiao<sup>1</sup>; YUE Yong-jie<sup>1</sup>; WANG Xiao-ping<sup>2</sup>; QIN Yong-sheng<sup>2</sup>; CHEN Jun-qi<sup>2</sup>.

**Intraspecific competitions in *Platycladus orientalis* natural forests in Beijing mountainous area.** *Journal of Beijing Forestry University* (2008) 30(Supp. 2) 36-40 [Ch., 14 ref.]

<sup>1</sup> Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating of Ministry of Education, School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

<sup>2</sup> Beijing Forestry and Parks Department of International Cooperation, 100029, P. R. China.

The method of gradual area expansion and Hegyi's competition model for individual tree were adopted to quantitatively study intraspecific competitions in *Platycladus orientalis* natural forests in the Zhuifeng Mountain Forest Farm. And the results compared with the data in *P. orientalis* plantations. It was shown that in natural *P. orientalis* community, the optimal competition distance of the target trees was 5 m, the intraspecific competitions in *P. orientalis* natural forests gradually became weakened with the diameter classes increased. The relation between the competition indexes and the diameters of the target trees at breast height (DBH) followed a power function. The results predicted by the model revealed that when DBH of *P. orientalis* natural forests was more than 20 cm, the competitions varied little in intensity. Comparing with *P. orientalis* natural forests, the intraspecific competition intensities in *P. orientalis* plantations were lower, and age structure of *P. orientalis* plantations community was unreasonable.

**Key words** *Platycladus orientalis* natural forest; intraspecific competition; competition limits; competition index; *Platycladus orientalis* plantation

竞争是指两个以上有机体在所需的环境资源或能量不足的情况下, 或因某种必需的环境受限制, 或因空间不够而发生的相互关系。竞争的结果是一个有机体阻碍了另一个有机体的正常生长和发育<sup>[1]</sup>。竞争是森林生态系统中的普遍现象, 是塑造植物形态、生活史的主要动力之一, 并对植物群落的结构和动态具有深刻的影响<sup>[2]</sup>。植物种内、种间竞争的研究一直是生态学研究植物生长和种群动态的核心问题。最简单的竞争关系是出现在一对植物之间, 通

过对成对生长植物邻体干扰的研究, 可了解植物间的竞争效应<sup>[3]</sup>, 研究林木个体之间的竞争是研究森林生态系统的基础, 同时林木个体的特点又是确定营林措施的重要基础<sup>[4-5]</sup>。20 世纪 60 年代以来, 一些学者为更准确地预测林木生长, 相继提出了许多描述林木间竞争的数学模型<sup>[6-7]</sup>, 并利用这些模型对七子花 (*Heptacodium miconioides*)、桫欏 (*Cyathea spinulosa*)、沙地云杉 (*Picea mongolica*)、太白红杉 (*Larix chinensis*)、元宝山冷杉 (*Abies yuanbaoshanensis*)

收稿日期: 2008-02-11

http://www.bjfujournal.cn; http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目: 北京市科委重大项目 (D0706001000091)、“十一五”国家科技支撑计划项目 (2006BAD03A02)。

第一作者: 史宇。主要研究方向: 林业生态工程、水土保持。电话: 010-82380384 Email: stern7444@sina.com 地址: 100083 北京林业大学 415 信箱。

责任作者: 余新晓, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 水土保持、生态学、生态水文。电话: 010-62338846 Email: yuxinxiao@bjfu.edu.cn 地址: 100083 北京林业大学水土保持学院

等树种的竞争过程进行了测定<sup>[1,8-11]</sup>,分析了种间、种内竞争强度及竞争指数与对象木胸径之间的关系,从而为林分密度管理与人工控制提供了理论依据。

侧柏(*Platycladus orientalis*)是柏科侧柏属植物,原产我国和朝鲜。侧柏虽在全国各地均有分布,但天然原生种群很少见。全国仅在华北地区太行山脉、秦岭、燕山山脉以及滇西北金沙江、澜沧江流域有零星分布,且大多数天然侧柏林林分稀疏多为散生状<sup>[12]</sup>。在北京地区,侧柏是乡土树种,是北京山区低山针叶林中的主要树种之一,侧柏林是北京市分布面积最广的森林,反映了北京的气候特点和森林特征。但由于其多为 20 世纪 50—80 年代营造的人工林,受到当时社会经济条件和科研水平的制约,造成了森林生态系统稳定性差、生态服务功能低下、生物多样性丧失严重、森林火险隐患突出等,这些问题有待解决。要想建立完善的人工侧柏林经营模式,研究天然侧柏林的生态结构和功能是非常必要的。天然侧柏林的研究仅在生物多样性、群落结构、植物区系等方面涉及,对天然侧柏林的种内竞争研究目前尚属空白。本文以锥峰山林场天然侧柏林为研究对象,采用 Hegyi 的单木竞争指数模型研究了天然侧柏种内竞争规律,并与典型人工侧柏种内竞争规律进行了对比分析,旨在为人工侧柏林的营造和管理以及天然侧柏林的保护和合理经营提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于北京市密云县锥峰山林场,该地位于 40°25'N、117°07'E。林场属低山区,主峰海拔 871 m,最低处海拔 282 m。土壤为山地褐土,pH 值呈中性至微酸性。研究区属暖温带半湿润季风型大陆性气候,气候温和,无霜期长达 150 d 左右,日照充足,水热同期。密云县锥峰山林场始建于 1953 年,经过 50 余年的封禁保护,形成天然针阔混交林。锥峰山林场总面积 408.3 hm<sup>2</sup>,其中天然林面积 332.5 hm<sup>2</sup>(侧柏 299.4 hm<sup>2</sup>、柞树(*Quercus*) 33.1 hm<sup>2</sup>)、人工林面积 75.8 hm<sup>2</sup>全部为油松(*Pinus tabulaeformis*)。林分郁闭度在 0.8 以上。锥峰山林场现有的天然侧柏林平均林龄可达百年以上,是华北地区目前保存最好的天然侧柏林分。林下灌木主要有荆条(*Vitex negundo*)、孩儿拳头(*Grewia biloba* var. *paviflora*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、薄皮木(*Leptodermis oblonga*)、花木蓝(*Indigofera kirlowii*)、酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)等,草本主要有细叶苔草(*Carex stenophylla*)、

荩草(*Arthraxon hispidus*)、野青茅(*Deyeuxia arundinacea* var. *ligulata*)等,林下植被总盖度为 40%~80%。

1.2 研究方法

1.2.1 数据获取

在研究区选取有代表性的天然侧柏林样地 3 块,每个样地面积为 20 m×20 m,在样地中进行每木检尺,记录下植株(胸径大于 5 cm)的坐标值,同时测定胸径、树高、枝下高和冠幅等,分别编号。选取 10 棵不同径级侧柏,在地面以上 1.3 m 处用生长锥通过髓心钻取木芯,以确定树木年龄。

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,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:

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

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( $N \geq 1$ )。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对象木的竞争指数 CI。由于本研究区域为侧柏纯林,因此文中出现的竞争指数 CI,以及多个对象木的平均竞争指数,都表现了天然侧柏的种内竞争强度情况。

2 结果与分析

2.1 天然侧柏群落邻体最佳竞争范围的确定

大多学者以对象木为中心一定样圆半径内的植株为竞争木,这种方法已被广泛接受。假定所有对某对象木产生竞争作用的树木都在以对象木为中心的一定圆形区域内,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,是亟待解决的问题<sup>[11]</sup>。分析国内已有的研究结果,不同树种的最佳竞争范围即样圆半径都有一定的差异,因此要研究种内竞争的第一步是确定合理的竞争范围。本研究从 3 个 20 m×20 m 的天然侧柏样方中选择对象木 15 株,分别计测半径为 4、5、6、7、8、9、10 m 的样圆内各对象木的平均竞争指数,分析出不同样圆半径与平均竞争指数间的回归关系(图 1)。由于两树间距普遍大于 3 m,因此最小半径定为 4 m。

从图 1 可见,平均竞争指数在 5 m 处有一个明显的拐点,当范围大于 5 m 时,平均竞争指数变化较缓慢;小于 5 m 时,平均竞争指数变化很大(4 m 处

为 0.67, 5 m 处为 0.36), 随半径增大呈明显下降趋势。这说明在天然侧柏群落中, 当周围植株的范围超过 5 m 时, 随竞争木距对象木的距离增大与数量增多, 竞争强度下降且变化不明显; 当范围小于 5 m, 随竞争木距对象木的距离变小与数量减少, 竞争强度明显升高。竞争强度的变化显然与范围大小、竞争木的数量有关, 反映出竞争木距对象木越近, 对象木受到的影响越大。所以样圆半径 5 m 是研究的最适宜竞争范围, 它能够很好地反映侧柏种内竞争的真实情况。

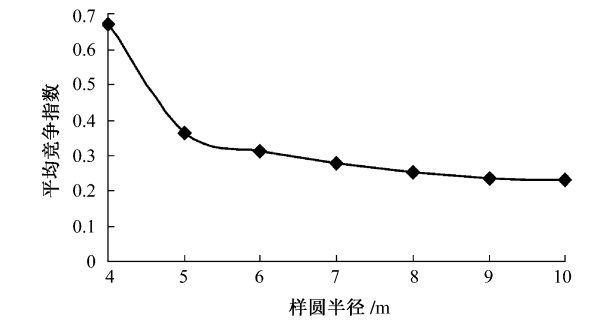


图 1 侧柏样圆半径与平均竞争指数的关系  
FIGURE 1 Relationship between radius of sampling circle and average competition index of *Platycladus orientalis*

2.2 对象木径级分析

在所测的 3 块天然侧柏样地中, 共测得对象木侧柏 60 株, 最小胸径 5 cm, 最大胸径 23.8 cm, 平均胸径 13.27 cm。以生长锥试验测得的样木树龄为因变量  $y$ , 样木胸径为自变量  $x$  进行一元线性回归, 得出两者的拟合直线方程为  $y = 8.174 1x - 26.504$ ,  $R^2 = 0.985 7^{**}$ 。将对象木平均胸径代入式(1)计算得出对象木的平均年龄为 82 年, 为近熟林。把所有对象木按 5 cm 为一个径级分为 4 个径级。经统计如表 1, 胸径(DBH)在 5~10 cm 之间有 20 株, 10~15 cm 之间有 17 株, 15~20 cm 之间有 15 株, 20~25 cm 之间有 8 株。利用 SPSS 软件做出径级与株数的频度柱状图(图 2)。从图中可以看出此径级分布从小到大呈金字塔型, 但基部与顶端差异并不是很显著。由于此树种胸径与年龄呈较显著的线性回归关系, 可推断对象木的年龄结构分布图与此径级极其相似。此种年龄结构分布在生态学中的意义为: 出生率和死亡率大致相平衡, 为稳定型种群。平均每株对象木在半径为 5 m、面积为 78.5 m<sup>2</sup> 的样圆内有竞争木 7.7 株, 远远低于沙地云杉林<sup>[1]</sup>, 略高于胡杨(*Populus euphratica*)林<sup>[13]</sup>。

2.3 天然侧柏林种内竞争分析

对于本文研究的样地计算不同径级的平均竞争指数以及各径级对象木竞争指数的标准差, 分析结果如表 1 所示。在侧柏生长过程中不断与自身发生

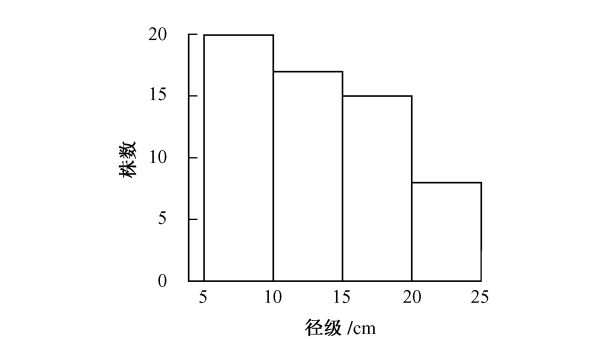


图 2 天然侧柏样地对象木径级分布图  
FIGURE 1 Distribution of diameter classes of objective trees in sample plot of natural *Platycladus orientalis*

竞争, 并产生自疏现象, 其种内竞争强度随个体的增大而减小, 由于林木自然稀疏加大植株间距离, 通过种群调节使个体间对光、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。当侧柏胸径小于 10 cm 时, 正处于迅速生长时期, 林冠开始郁闭, 密度调节发挥作用, 争夺空间和资源的竞争激烈; 随着林木的生长发育, 当胸径大于 20 cm 时, 种群的自然稀疏作用加大, 树冠发育基本定型。植株距离加大, 竞争强度随胸径的增大而逐渐减少, 此时对象木高度较周围其他树木高, 受到的遮挡较弱或几乎没有, 主要表现为该植株对周围其他植株的竞争作用, 受到其他植株的影响较少。

另外, 从不同径级对象木的竞争指数标准差来看, 胸径小于 10 cm 时, 各对象木的竞争指数值的标准差较大, 证明在幼龄林阶段林木之间正处在激烈竞争阶段, 由于单木所处的位置有一定的差异导致受到的种内竞争强度差异较大。也说明胸径较小的林木易受空间异质性的影响而改变其个体产量和死亡率, 进而使林分密度发生自我调节。当对象木胸径大于 20 cm 时, 测得的竞争指数的标准差为最小。说明林木年龄达到成熟阶段后, 树木形态以及各个生态功能相对稳定, 受到其他植株的影响很小, 同等较大径级的林木的竞争指数均较小并且数值差异相当小。

表 1 天然侧柏林种内竞争强度  
TABLE 1 Intraspecific competition intensity of natural *Platycladus orientalis*

项目	径级/cm			
	6<DBH ≤10	10<DBH ≤15	15<DBH ≤20	20<DBH ≤25
平均竞争指数	0.686 4	0.315 2	0.304 9	0.238 4
标准差	0.197 1	0.083 0	0.109 4	0.031 4
样本数/株	20	17	15	8

2.4 竞争指数与对象木胸径的关系及其预测结果  
林木的竞争能力受多种因素制约, 如植株个体

大小、所处发育阶段、个体生活力的高低、周围植株个体对它的影响等,其中个体胸径的大小对竞争能力影响很大<sup>[3]</sup>。以竞争指数  $CI$  为因变量,以对象木胸径为自变量,采用线性、非线性、双曲线、幂函数、指数函数和对数方程等数学公式对竞争指数与对象木胸径间关系进行回归拟合。结果表明,幂函数的相关系数最大,这与段仁燕<sup>[11]</sup>对太白红杉及邹春静<sup>[1]</sup>对沙地云杉研究的结果相似,证明幂函数为较优的回归模型。即:  $CI=AD^{-B}$ , 其中,  $D$  为对象木胸径,  $A$ 、 $B$  为模型参数。经回归分析得出天然侧柏林样地  $CI=3.539D^{-0.898}$ ,  $R^2=0.636$ (图 3), 模拟所得参数经显著性检验达到显著水平。结果表明:对象木的胸径越大,种内的竞争强度就越小。也就是说,对象木的个体越大,其附近一定范围内生长的其他个体(竞争木)就减少,竞争木与对象木之间的竞争就减弱。从图 3 可以看出侧柏胸径从 5 cm 到 10 cm 的生长过程中竞争强度随植物个体增大下降趋势明显,说明在这一阶段侧柏树木之间竞争激烈,但在胸径达到 10 cm 以上时竞争强度趋于稳定,维持在较低水平。因此,在侧柏天然林经营和管理中应加强人工对中小径级木的干预,即在侧柏胸径达到 10 cm 之前进行适当的人工疏伐,以减轻植株间的竞争消耗,加速侧柏的生长,提高侧柏林的生产力。

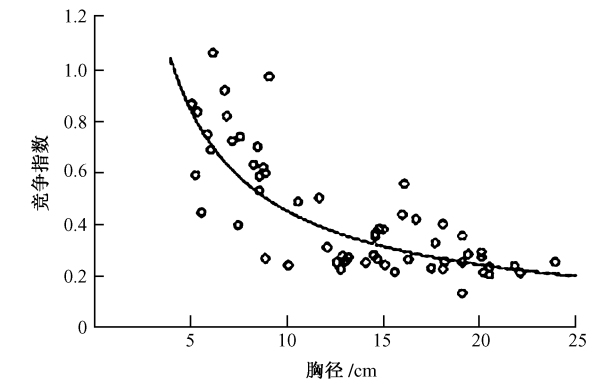


图 3 天然侧柏林种内竞争指数与对象木胸径的模型预测  
FIGURE 3 Competition index of natural *Platycladus orientalis* and the DBH prediction of objective tree by the model

2.5 典型天然侧柏林与人工侧柏林的种内竞争对比分析

为研究天然侧柏林与人工侧柏林在种内竞争上的差异,选取了北京十三陵林场的一块 20 m×20 m 的人工侧柏林样方的调查数据。此处为国有林场,人工侧柏林在建国初期营造,代表了北京大部分人工侧柏林营造的自然情况和社会背景。按照本文的方法,选取 5 m 为样圆半径,共选取各个径级 20 株对象木,对人工侧柏林的种内竞争进行了分析。经

回归分析得出对象木胸径与竞争指数的拟合曲线的幂函数方程为  $CI=2.288D^{-0.782}$ ,  $R^2=0.846^{**}$ (如图 4)。由图 3 和图 4 对比可得出以下结论:

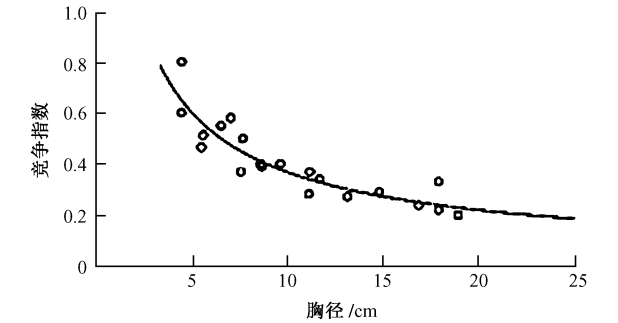


图 4 人工侧柏林种内竞争指数与对象木胸径的模型预测  
FIGURE 4 Competition index of *Platycladus orientalis* plantation and the DBH prediction of objective tree by the model

1)天然侧柏林与人工侧柏林在不同的径级上的竞争强度差异并不十分显著。可以认为不同立地环境下侧柏林的种内竞争指数值相近。本文选择的天然侧柏林样地和人工侧柏林样地在海拔、气候、土壤、坡向、坡位等诸多方面都具有异质性,但得出的种内竞争规律曲线很大程度上是近似的。侧柏的种内竞争强度与同径级的其他种类乔木相比有明显差异,高于沙地云杉<sup>[1]</sup>,低于元宝山冷杉<sup>[10]</sup>。这说明不同种类植物的种内竞争激烈程度具有特异性。

2)人工侧柏林的对象木胸径与竞争指数关系拟合曲线与天然侧柏林相比更平滑,在小径级部分下降趋势不够明显。此结论很可能是由人工林的造林方式造成的。自然形成的森林由于其种子传播过程不受人为干扰,具有很强的随机性和群聚性,会导致小范围内很多种子萌发并生长的情况。随着植株地上部分和地下部分的不断生长,必然造成临近植株之间对维持生命的资源的激烈争夺,因此在树木尚未成熟之前会产生激烈的种内竞争,完成天然林的自疏过程。营造人工林时按照一定的株行距进行栽种,人为地将其种内竞争的强度降低,这对减少竞争消耗、加速林木生长是有积极作用的。但由于造林是在同一时间将同种树木按照相同距离栽种,造成树种单一,林分结构简单,生态稳定性差等缺陷,典型表现为人工侧柏林中乔木层以下的灌木层和草本层不发达,与天然侧柏林差异显著,这种现象直接导致森林病虫害和森林火灾的发生率较高。

3)从胸径变化幅度上看,天然侧柏林要大于人工侧柏林。这说明天然侧柏林的年龄结构更复杂,而人工林的年龄结构单一,普遍处于中幼林状态,且胸径 5 cm 以下的幼树数量明显不足,人工侧柏林的年龄结构不合理。同时人工侧柏林还存在着造林密度过大的问题,这就造成相当一部分侧柏年龄相近、

竞争能力相近。当林木生长到一定阶段时会出现各单木之间竞争相对平衡的状态,这将会阻碍自疏过程的实现,造成林木生长集体减缓,大部分林木处于被压状态,不利于森林生态价值和经济价值的实现。

3 结论与讨论

目前在确定邻体竞争范围时,大都根据研究者的工作经验,凭主观确定一个最佳范围,很难给出一个具体的标准与依据<sup>[13]</sup>。本文采用逐步扩大范围的办法来确定以对象木为中心的合理邻体竞争范围,研究表明侧柏林种群竞争作用的最佳邻体范围是 5 m。首次确定了侧柏林种群最佳邻体竞争范围,为进一步深入研究侧柏种群生态学和群落演替提供了理论基础。

本文应用了 Hegyi 单木竞争指数模型研究锥峰山天然侧柏林种内竞争作用,显示侧柏林种内竞争强度均随胸径的增大而降低,经回归分析发现呈显著的幂函数关系,此结果与前人的研究结果<sup>[1,9,11,13-14]</sup>基本一致。说明 Hegyi 单木竞争指数模型能很好地反映林木之间的竞争关系,实际应用中简单、实用。

此外,通过对华北土石山区典型天然侧柏林和人工侧柏林的对比研究表明:天然侧柏林与人工侧柏林在不同的径级上的竞争强度差异并不十分显著;人工造林的规律性造成了人工侧柏林的种内竞争激烈程度比天然侧柏林低,人工造林可在一定程度上减少林木竞争消耗,但也会造成森林某些生态结构和功能的缺陷;人工侧柏林的年龄结构明显不合理,不利于森林生态价值和经济价值的实现。

参 考 文 献

[ 1 ] 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 D. Study on intraspecific and interspecific competition of *Picea mongolica* [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22 (3); 269-274.

[ 2 ] 李博,陈家宽,沃金森 A R. 植物竞争研究进展[J]. 植物学通报, 1998, 15(4) : 18-29.  
LI B, CHEN J K, WATKINSON A R. A literature review on plant competition[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1998, 15(4); 18-29.

[ 3 ] GUREVITCH J, WILSON P, STONE J L, *et al.* Competition among old field perennials at different levels of soil fertility and available space[J]. *Journal of Ecology*, 1990, 78(3); 727-744.

[ 4 ] 丹尼尔 T W,海勒姆斯 J A,贝克 F S,等. 森林经营原理[M]. 赵克绳,王业遽,宫连城,等. 译. 北京: 中国林业出版社, 1987.

DANIEL T W, HELMS J A, BAKER F S, *et al.* *Principles of silviculture* [M]. ZHAO K S, WANG Y J, GONG L C, *et al.*, tran. Beijing: China Forestry Publishing House, 1987.

[ 5 ] OLIVER C D, LARSON B C. *Forest stand dynamics* [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1996.

[ 6 ] HURLBER S H. The measurement of nice overlap and some relatives [J]. *Ecology*, 1978(1); 67-77.

[ 7 ] WEINER J. Neighbourhood interference amongst *Pinus rigida* individuals[J]. *Journal of Ecology*, 1984, 72(1); 183-195.

[ 8 ] 金则新,张文标. 濒危植物七子花种内与种间竞争的数量关系[J]. 植物研究, 2004, 24 (1) : 54-58.  
JIN Z X, ZHANG W B. The quantitative relation of intraspecific and interspecific competition in endangered plant *Heptacodium miconioides* [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2004, 24 (1) : 54-58.

[ 9 ] 何跃军,刘济明,钟章成,等. 桫欏群落的种内种间竞争研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2004, 26 (5) : 590-593.  
HE Y J, LIU J M, ZHONG Z C, *et al.* Intraspecific and interspecific competition in *Alsophila spinulosa* community [J]. *Journal of Southwest Agricultural University ( Natural Science )*, 2004, 26 (5) : 590-593.

[ 10 ] 李先琨,苏宗明,欧祖兰,等. 元宝山冷杉群落种内与种间竞争的数量关系[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(1): 20-24.  
LI X K, SU Z M, OU Z L, *et al.* On intraspecific and interspecific competition among *Abies yuanbaoshanensis* community [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2002, 11(1); 20-24.

[ 11 ] 段仁燕,王孝安. 太白红杉种内和种间竞争研究[J]. 植物生态学报, 2005, 29(2): 242-250.  
DUAN R Y, WANG X A. Intraspecific and interspecific competition in *Larix chinensis* [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(2); 242-250.

[ 12 ] 董铁民,陈晓阳,张雪敏. 侧柏[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 1990: 1-6.  
DONG T M, CHEN X Y, ZHANG X M. *Platycladus orientalis* [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1990: 1-6.

[ 13 ] 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); 2 547-2 552.  
HAN L, WANG H Z, ZHOU Z L, *et al.* Intraspecific and interspecific competitions of the dominating plant *Populus euphratica* in the Desert of Tarim [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2006, 26 (12); 2 547-2 552.

[ 14 ] 宁金魁,郑小贤,高甲荣,等. 干扰指数在密云县侧柏水源涵养林中的应用[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(6); 15-19.  
NING J K, ZHENG X X, GAO J R, *et al.* Application of interference index in water conservation forest of *Platycladus orientalis* in Miyun County, Beijing [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, 25(6); 15-19.

(责任编辑 吴 娟)