

黄山松种群邻体范围与邻体竞争强度的研究

段仁燕^{1,2}, 黄敏毅¹, 吴甘霖¹, 涂云博², 汪超²

(1. 安庆师范学院 生命科学系, 安徽 安庆 246011; 2. 陕西师范大学 生命科学学院, 西安 710062)

摘要: 当环境中可利用的资源低于种群最佳生长需要时, 种群内个体之间就会产生竞争。竞争常发生在邻近植物之间, 植物地上部分和地下部分的竞争范围是不同的。目前, 有很多度量竞争强度和确定竞争范围的方法, 能否对这些方法进行改进, 提出更具有说服力的方法, 是本研究的出发点。黄山松是常见的针叶树种, 分布范围广, 生存能力强, 是亚热带中部中山地区代表群系的建群种, 也是较高海拔地区重要的造林树种, 具有较强的代表性。对黄山松的邻体竞争研究发现: (1) 改进的竞争指数有更强的说服力; (2) 逐步扩大范围的方法能很好地确定植株间的竞争范围; (3) 邻体竞争强度随影响范围的增加而增加, 在一定的范围内增加的较快, 而超出该范围后增加的幅度变小, 可以此为依据来确定邻体范围; (4) 不同径级的基株, 邻体范围有一定的差异; (5) 邻体竞争强度和影响范围的关系服从对数函数关系 ($CI = A \ln C + B$)。结果表明, 改进的竞争指数能很好地度量竞争强度, 采用逐步扩大范围的方法能有效地确定邻体范围。

关键词: 邻体竞争; 竞争指数; 邻体范围; 逐步扩大范围法

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2009)01-0111-05

Study on neighborhood zone and neighborhood competition intensity in *Pinus taiwanensis* population

DUAN Ren-Yan^{1,2*}, HUANG Min-Yi¹, WU Gan-Lin¹,
TU Yun-Bo², WANG Chao²

(1. Department of Life Science, Anqing Teachers College, Anqing 246011, China;

2. College of Life Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Competition among trees within a population exists when resource availability falls below the sum requirement of the population for optimal growth. Competition for both aboveground and belowground resources takes place over different size zones. It is difficult, if it is not possible to define the zone of influence for use in a competition index (CI) for individual trees that includes all competitors and sources of competition for scarce resources. Generally, researchers have determined empirically that larger influence zones provide better correlations with tree growth. It is important to choose the suitable competition index and qualify the competition zone. *Pinus taiwanensis* is a common species, and it is one of the dominant species in subtropical area. The results show that: (1) the improved competition index is more suitable to study the neighborhood competition; (2) the method of increasing the range gradually can qualify the competition zone suitably; (3) the competition intensity in *P. taiwanensis* population increases with the increasing of zone, and in a certain zone, it increases very quickly while it has a little increase beyond the zone, by which the zone of neighborhood can be ascertained; (4) the plants with different diameter scale have different neighborhood zone; (5) the relationship between the competition intensity and the interference zone follows closely the following equation $CI = A \ln C + B$. A new approach to measure the competition intensity and to ascertain the neighborhood zone on studying the plant competition were provided in this paper.

Key words: neighborhood competition; competition index; neighborhood zone; method of increasing the range gradually

收稿日期: 2007-02-10 修回日期: 2008-07-26

基金项目: 国家自然科学基金(30070083); 安徽省教育厅基金(2006kj154C) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(30070083); Education Department of Anhui(2006kj154C)]

作者简介: 段仁燕(1978-), 男, 湖北枣阳市人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事植物生态学方面的研究, E-mail: renyanduan@yahoo.com.

自从 1961 年 Harper 提出邻体干扰的概念以来,植物邻体干扰(neighborhood interference)的研究引起了各国生态学工作者的极大关注,已成为植物种群生态学研究热点之一(Pacala & Silander, 1985; Weiner, 1984)。对邻体干扰大小的度量一般称作邻体干扰指数,也叫邻体竞争指数。目前,有两类主要的竞争指数,即依赖距离的竞争指数和不依赖距离的竞争指数(Binging & Dobbartin, 1992, 1995)。不依赖距离的竞争指数只需要测量相关的密度和相对大小,不需要对树木所在位置具体测量(Binging & Dobbartin, 1992)。由于基株主要受邻近植株的影响,受其它植株影响较小故较少采用,用的较多的是依赖距离的竞争指数。依赖距离的竞争指数很多,国内常用的是张跃西(1993)的竞争指数,但在实际应用中发现存在着“1 m 效应”,这与植物间竞争的实际不符,因此该竞争指数存在着一定的改进空间。当环境中可利用的资源低于种群最佳生长需要时,种群内个体之间就会产生竞争。Daniels (1976)认为植物地上部分的竞争主要集中在树冠范围尺度上,但地下部分竞争很分散,也很难预测。地上和地下部分的竞争状况不一致,若仅仅根据地上部分对光资源的竞争来确定竞争范围的话,其结果将很不准确。若确定的邻体范围偏大或偏小,都不能准确反映基株所受到的干扰状况。国内外学者对此已做了许多研究,不同学者持不同的观点。如何对现有竞争指数进行改进,以避免“1 m 效应”?假定所有对某一基株产生竞争作用的植株都在以该基株为中心的一个圆形区域内,如何合理的确定这个区域范围,才能使所计算的竞争指数准确地反映该基株的邻体竞争强度?

黄山松(*Pinus taiwanensis*)分布面积广,生存能力强,是亚热带中部中山地区代表群系的建群种,也是较高海拔地区重要的造林树种,具有较强的代表性(胡正华等, 2003)。我们以黄山松为对象,试图在原有理论的基础上,提出度量竞争强度的改进方法及确定竞争范围的方法,并探讨这些方法在黄山松群落种内种间竞争中的应用,旨在为邻体竞争研究中竞争指数的度量和邻体竞争范围的确定提供理论依据。

1 研究地区概况

天柱山国家森林公园位于安徽省安庆市潜山县

西北部,地处 $116^{\circ}25' \sim 116^{\circ}32' \text{ E}$, $30^{\circ}41' \sim 30^{\circ}48' \text{ N}$ 之间,距潜山县城 20 km。天柱山属大别山山脉,呈季风北亚热带气候特征;春秋多雨,秋冬干冷,年平均气温 9.5°C 左右,平均降雨量 1 900 mm,全年无霜期 235 d;土壤类型呈较明显的垂直分布规律。由于地处亚热带常绿阔叶林和暖温带落叶阔叶林的过渡区,其植物资源丰富,种类繁多,有植物种类 1 000 余种(聂爱武, 2001)。

2 研究方法

2.1 数据采集

样地选择在天柱山国家森林公园,在全面考察黄山松的分布状况、了解其群落各种特征的基础上,在同一生境下(坡度 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$, 坡向南偏西),选取有代表性(没有人为干扰,群落结构和周围群落相似)的黄山松纯林 2 块作为研究样地,每个样地面积为 $40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$,在样地中进行逐株编号、测定,记录每个植株的坐标,同时测定胸径、树高、枝下高和冠幅等。

2.2 竞争指数的改进

邻体干扰指数,又叫邻体竞争指数,目前有关植物间的竞争指数的研究较多,不同的学者提出了一些不同的模型(张跃西, 1993; 洪伟等, 1997),但以张跃西根据生态学原理及自疏规律而提出的改进模型较为简单,而且有较强的说服力(张跃西等, 1999),目前国内学者大多采用这个模型,其计算式: $CI_1 = \frac{\sum_{j=1}^N D_j^2 D_i^{-1} d_{ij}^{-2}}$, 式中, CI_1 为公式改进前的竞争指数,该值越大,竞争越强; D_i 为基株胸径; D_j 为邻体胸径; d_{ij} 为邻体与基株间的距离; N 为邻体的株数。

在实际应用中发现,在基株周围 1 m 范围内,虽然仅有很少量的个体,即使这些个体胸径较小,但计算的竞争指数非常大;而在基株周围 1 m 外,邻体相对较多,但即使这些个体胸径较大,计算的竞争指数也非常小。结果可能会缩小 1 m 外大量个体对基株竞争的影响,而夸大 1 m 内较少个体的作用。表明上述公式 CI_1 可能在一定程度上夸大了距离的作用,而缩小了邻体大小作用的影响。

为了一定程度上弱化距离的影响,使数据更有可比性,更真实地描述不同距离邻体的竞争强度,我们对此公式进行了一定的改进,其改进公式为: $CI_2 = \sum_{i=1}^N D_j^2 D_i^{-1} (d_{ij} + 1)^{-2}$, CI_2 为公式改进后的竞争指数,其余各字母的意义同上式。

2.3 数据处理

根据野外调查的每株植物的坐标数据,在计算机上绘制植物分布图。从每个样地中部随机选择 40 株黄山松为基株,共 80 株,其中不同基株的邻体存在一定程度的重复。根据坐标值计测邻体与基株之间的距离,然后,分别计测距基株 0~10 m 范围内邻体的竞争指数,绘出影响范围与邻体竞争强度变化的散点图,分别用不同的影响范围进行分段拟合,绘出线性回归图(图 1)。

3 结果与分析

3.1 基株的基本特征

共调查黄山松基株 80 株,最小胸径 3.2 cm,最大胸径 27 cm,平均胸径 16.3 cm。将所调查的基株按径级分组(表 1),其中,中小径级的黄山松占的比例较高,胸径为 5~20 cm 占总株数的 83.75%。调查发现,邻体中胸径最小的为 4.6 cm,最大的为 30.5 cm,不同径级的基株邻体有很大的区别。

3.2 改进前后竞争指数的比较

为研究方便,从样地中随机抽取一株基株用来比较改进前后竞争强度的变化。所选择植株的胸径为 17.8 cm,不同范围内邻体分布情况和邻体大小见表 2。通过比较发现,1 m 范围内的 2 株邻体胸径相对较小(9.5 cm),其竞争强度(1.35)却占据了 10 m 内所有个体竞争强度(3.04)的 44.4%,接近一半。这样的结果意味着周围 1 m 外近 53 株邻体对基株的影响和 1 m 内 2 株邻体的影响强度相当,这可能与实际不太符合。而改进后的竞争指数,1 m 内的竞争强度为 0.18,而 10 m 内的为 1.09,约为 16.5%,基本合乎常理。可见,原来的竞争指数可能会放大邻近植株的竞争效应,而缩小了较远植株的竞争状况。对其他个体研究也发现类似的结果,因此改进的竞争指数模型可能更有说服力。

为进一步说明公式改进的必要性,将竞争状况进行简化,即研究一对植株的状况(一个基株,一个邻体)。假定基株和邻体的胸径相同(D),当邻体分别在距基株 0.9 m 和 1.1 m 的位置时,竞争指数

表 1 黄山松基株的胸径分布
Table 1 DBH distribution of objective tree among *Pinus taiwanensis*

径级 Diameter scale (cm)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	合计 Total
株数 Number	5	24	23	20	5	3	80
百分比 Percentage (%)	6.25	30.00	28.75	25.00	6.25	3.75	100.00

表 2 不同竞争指数度量公式的比较
Table 2 The comparison of different competition indices

邻体范围 (m) Neighborhood zone	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
邻体数目 Neigh- borhood number	2	5	7	10	20	25	35	43	49	55
邻体平均胸径 The average DBH	9.5±2.4	9.6±5.6	9.4±3.7	6.7±1.6	10.5±2.7	12.5±4.6	14.9±5.2	13.5±4.2	12.8±3.5	10.9±2.1
CI_1	1.35	1.89	2.10	2.15	2.50	2.55	2.73	2.87	2.94	3.04
CI_2	0.18	0.34	0.51	0.74	0.75	0.79	0.93	0.96	1.06	1.09

CI_1 分别为 1.23 D 、0.83 D 和 CI_2 分别为 0.28 D 、0.23 D ,分别下降 0.4 D 和 0.05 D 。2 次测定的距离相差很小,仅相差 0.2 m,从理论上讲,虽然竞争指数会有一定程度的降低,但降低的幅度不会太大,但本研究发现竞争强度 CI_1 下降了 33.1%, CI_2 仅下降 18.1%。可见,改进的竞争指数可能有更强的说服力。

3.3 不同影响范围内邻体竞争强度

从理论上讲,随着邻体范围的扩大,邻体竞争强度会逐步增加。具体表现为,开始竞争强度增加的

很快,但增加到一定程度后,由于大量非竞争木的加入,竞争强度增加速率会明显减慢,中间存在一个变化幅度的转折点,参照分形理论,可以认为该点为基株最适邻体范围。我们把通过逐步扩大基株的邻体范围来研究邻体竞争强度的变化规律,采用分段线性拟合基株的邻体范围与竞争强度,找出其变化范围的转折点,以确定邻体最适范围(转折点对应的基株的邻体范围)的方法叫做逐步扩大范围法。植株径级的不同,邻体范围就有一定的差别。

本文以径级为 15~20 cm 的黄山松为例,探讨

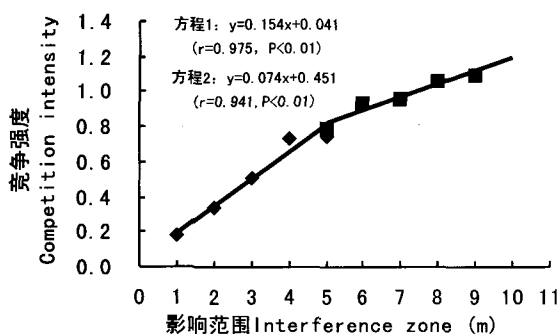


图 1 不同影响范围黄山松的邻体竞争强度(径级为 15~20 cm)

Fig. 1 The neighborhood competition intensity of *Pinus taiwanensis* population in different interference zones (the diameter scale is 15—20 cm)

表 3 黄山松邻体竞争强度与影响范围的关系

Table 3 The correlation of interference zone and neighborhood competition intensity

径级 Diameter scale	方程 1 Equation 1	邻体范围 The zone of neighborhood	方程 2 Equation 2
0~5	$y=0.632x+4.067(r=0.996, P<0.01)$	4	$y=0.262x+5.428(r=0.971, P<0.01)$
5~10	$y=0.449x+0.374(r=0.958, P<0.01)$	5	$y=0.159x+1.865(r=0.968, P<0.01)$
10~15	$y=0.295x-0.359(r=0.983, P<0.01)$	6	$y=0.098x+0.836(r=0.992, P<0.01)$
15~20	$y=0.154x+0.041(r=0.941, P<0.01)$	5	$y=0.074x+0.451(r=0.975, P<0.01)$
20~25	$y=0.107x-0.051(r=0.998, P<0.01)$	4	$y=0.057x+0.349(r=0.988, P<0.01)$
25~30	$y=0.029x-0.022(r=0.901, P<0.05)$	3	$y=0.006x+0.055(r=0.916, P<0.05)$

表 4 竞争强度与影响范围的模型参数

Table 4 Model parameters of the competition intensity and the interference zone

径级 (cm) Diameter scale	A	B	$R_{0.05}$	$R_{0.01}$	显著性 Significance
0~5	1.473	4.466	0.89	0.82	**
5~10	1.261	0.542	0.95	0.88	**
10~15	0.863	-0.242	0.98	0.93	**
15~20	0.414	0.111	0.85	0.76	**
20~25	0.392	-0.071	0.91	0.84	**
25~30	0.044	0.011	0.87	0.59	*

“*” $P<0.05$; “**” $P<0.01$ 。

黄山松邻体竞争强度呈明显上升趋势(如表 2 中方程 1 的斜率普遍较大);而超出此范围,上升趋势减弱(如表 3 中方程 2 的斜率普遍较小),有的几乎无明显的变化,如径级为 25~30 cm 的黄山松在范围超出 3 m 后,斜率仅为 0.006。可见,基株径级的不同,周围邻体植株的干扰状况也明显不同(表 3)。

3.4 不同影响范围内邻体竞争强度的模拟

植物的竞争能力受多种因素制约,其中所确定的邻体范围对计算出的邻体竞争能力有较大的影响,并且确定一个合理的邻体范围是邻体干扰研究

如何通过逐步扩大范围法来确定邻体范围。转折点的确定,主要采用分段拟合,如果 2 个拟合方程均达到显著水平以上,而且 2 个 R^2 相加的值最大,则该点即为转折点。如图 1 所示,径级为 15~20 cm 的黄山松在小于 5 m 的范围内,其竞争强度呈直线上升趋势,而且上升较快(斜率为 0.154);超过 5 m 时,竞争强度虽然仍在增加,但增加的速度明显变慢(斜率为 0.074)。表明,5 m 范围内的植株对基株的生长有明显的影 响,而超出 5 m 这个范围后,可能已超过了植株间的相互作用范围,虽然仍表现出一定的影响,但作用明显减弱,因此该径级基株的邻体范围应选择在 5 m 处。

不同径级黄山松的竞争范围有较大的差异(表 3)。总的来看,在基株周围一定范围内,不同径级的

的前提。我们以竞争强度为因变量,以不同的影响范围为自变量,采用线性、幂函数和对数方程等数学公式对竞争强度与影响范围的关系进行回归拟合。结果表明,对数方程的相关系数均较大,因此对数函数应为较优的回归模型,即: $CI = A \ln C + B$, 其中, CI 为竞争强度, C 为邻体范围, A 和 B 为模型参数,显著性检验结果均达到显著水平(表 4),并利用该模型预测了不同影响范围内黄山松邻体竞争强度(表 5),预测结果表明黄山松邻体的竞争强度随范围的增大而增加。当范围达到一定程度时,竞争强度的变化速率减小(表 5)。预测结果与实际观测相吻合,表明用对数函数方程可以较好地描述邻体竞争强度和影响范围的关系。

4 讨论

邻体竞争效应是植物群落中普遍存在的现象,邻体竞争效应的研究不仅可以分析群落植物个体生长与邻体干扰的关系,还可以分析演替种间、种内关系及揭示演替动力(洪伟等,1997)。同时,对于揭示

植物群落的组建机制、自然选择、人工植树造林,以及作物的栽培布局等都具有十分重要的意义。邻体竞争指数模型的组建涉及邻体的数目、邻体到基株的距离、邻体及基株个体的大小(Bella,1971;Brand & Magnussen,1988;吴巩胜等,2000;Purves & Law,2002)。前人已提出了大量的植物邻体干扰指数模型,并提出了很多的改进模型,但仍然存在一定

的不合理的地方,如可能存在夸大植株间距离作用的因素。本研究基于植物邻体竞争效应研究的实践及理论探索,提出一个植物邻体竞争的改进模型。对天柱山黄山松种群邻体干扰研究实例表明,本研究所提出的邻体竞争改进模型很好地避免了以前研究中 1 m 范围内的邻体竞争指数过大的缺陷,具有更强的说服力和适用性。

表 5 不同影响范围内黄山松邻体竞争强度的模型预测
Table 5 Model prediction of neighborhood competition of *Pinus taiwanensis* population intensity in different interference zones

径级 (cm) Diameter scale	影响范围 Inference zone									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0~5	4.47	5.49	6.08	6.51	6.84	7.11	7.33	7.53	7.70	7.86
5~10	0.54	1.42	1.93	2.29	2.57	2.80	2.99	3.16	3.31	3.45
10~15	—	0.36	0.71	0.95	1.15	1.30	1.44	1.55	1.65	1.69
15~20	0.11	0.39	0.57	0.68	0.78	0.85	0.92	0.97	1.02	1.06
20~25	—	0.20	0.35	0.47	0.56	0.63	0.69	0.74	0.79	0.83
25~30	0.01	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11

以前在研究邻体竞争范围时,大多以植物的相互接触为依据(宋丁全等,2002)。事实上,一个种群的邻体范围受多种因素的影响,除与基株和周围植株有很大的关系外,还受环境条件的制约(向言词等,2003)。大多植物都与其它种类的个体处于混合生长的状态,在进行野外取样往往需要得到多个种群的个体分布资料,而多种群的邻体大小就更为不一。因此,如果仅简单的依据一定范围或者以相接触为依据的话,可能会不能真实反映邻体的范围,因此在研究植物的竞争作用时,应先对不同影响范围内基株所受的邻体竞争状况有个清楚的了解,并在此基础上来确定合理的邻体范围。这样才能保证对特定种群的分析结果正确可靠,同时为后续研究节约大量的时间。

在研究过程中,本文还与常用的以树冠接触为依据所确定的邻体范围做了进一步的比较,结果发现根据逐步扩大范围方法所确定的邻体范围大于植株树冠实际相接触的范围,可能有 2 方面的原因:(1)根据光生态场理论,一天中太阳高度角的变化(李树人等,1997),导致植物间对光的竞争范围远大于直接相接触的范围;(2)植物不但存在着地上竞争,而且存在着地下竞争(邹春静等,1998;段仁燕等,2004;段仁燕等,2005),对黄山松而言,地下竞争的范围可能大于地上竞争的范围。就此而言,逐步扩大范围方法所确定的邻体范围要比以树冠接触为依据所确定的邻体范围更具有生态学意义。其他的

确定邻体范围的方法(如:以基株周围一定范围内的植物为邻体和一定范围内比基株大的植株做为邻体),这些方法大都根据研究者相关的工作经验,凭主观确定一个最适范围,有一定的随机性,很难给出一个具体的标准。目前,尚无有关黄山松邻体范围的研究报道,无法就这几种方法的优劣作出进一步的比较。邻体范围的确定对植物竞争关系的研究有较大影响,采用逐步扩大范围的办法来确定基株合理的邻体范围不失为简易可行的一种方法。

参考文献:

Bella IE. 1971. A new competition model for individual tree[J]. *Fore Sci*,17:362—367
Biging GS,Dobbartin MA. 1992. Comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees[J]. *Fore Sci*,38:695—720
Biging GS,Dobbartin MA. 1995. Evaluation of competition indices in individual tree growth models[J]. *Fore Sci*,41:360—377
Brand GS, Magnussen S. 1988. Asymmetry competition of red pine[J]. *Fore Sci*,18:901—910
Daniels RF. 1976. Simple competition indices and their correlation with annual loblolly pine tree growth[J]. *Fore Sci*,22:454—456
Duan RY(段仁燕),Wang XA(王孝安). 2004. Study on neighborhood zone and neighborhood competition intensity in *Larix chinensis* population(太白红杉种群邻体范围与邻体竞争强度的研究)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报),24(12):2 335—2 340
Duan RY(段仁燕),Wang XA(王孝安). 2005. Intraspecific and interspecific competition in *Larix chinensis*(太白红杉种内种间(下转第 102 页 Continue on page 102)

- Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 11(3):333-336
- Wu QQ(吴清泉). 2002. Protection of eco-environment of dongshan county and its sustainable development(东山县生态环境保护与可持续发展)[J]. Fujian Geo(福建地理), 17(2):45-47
- Yan SJ(闫淑君), Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承祯), et al. 2002. Life process and spectral analysis of *Castanopsis fargesii* population(丝栗种群生命过程及谱分析)[J]. Chin J Appl Environ Bio(应用与环境生物学报), 8(4):351-355
- Ye GF(叶功富), Guo JF(郭剑锋), Liao FL(廖福霖), et al. 2001. The position of coastal protective forests in the littoral city environment construction and their development countermeasures(沿海防护林在滨海城市环境建设中的地位及发展对策)[J]. J Fujian Fore Sci Tech(福建林业科技), 28(3):6-10
- Ye GF(叶功富), Luo MJ(罗美娟), Lu CY(卢昌义). 2006. Restoration of degraded ecosystem and integrated management in coastal zone(海岸带退化生态系统的恢复与海岸带综合管理)[J]. World Fore Res(世界林业研究), (4):5-10
- Ye GF(叶功富), Zheng RH(郑仁华), Feng ZX(冯泽幸). 1994. A study on the monographic literature of *Casuarina*(木麻黄专题文献研究)[J]. J Fujian Fore Sci Tech(福建林业科技), 21(1):57-61
- You SS(游水生), Yang YS(杨玉盛), Liang YC(梁一池). 1995. Dynamics of *Castanopsis carlesii* population before burning in Wuping Maobu, Fujian(福建武平帽布火烧米槠种群动态分析)[J]. J Fujian Coll Fore(福建林学院学报), 15(3):1-4
- You SS(游水生), Wang XM(王小明), Wang HW(王海为). 2002. Determination of the minimum sampling area for mid-sub-tropical evergreen broad-leaf forest in Fujian Province, China(中亚热带常绿阔叶林最小面积的确定)[J]. J Wuhan Bot Res(武汉植物学研究), 20(6):438-442
- Zeng HS(曾焕生). 2001. On Problems of regeneration of cutting woodland of *Casuarina equisetifolia* on coastal area of Fujian(福建沿海地区木麻黄迹地更新问题研究)[J]. Protection Fore Sci Tech(防护林科技), 5(3):34-36
- Zhang SS(张水松), Ye GF(叶功富). 2000. A study on techniques of regeneration and transformation of protection forest in the coast zone(海岸带防护林更新改造技术研究)[J]. Protection Fore Sci Tech(防护林科技), (Sp. 1):1-193
- Zhang WH(张文辉), Xu XB(许晓波), Zhou JY(周建云), et al. 2005. Population dynamics of endangered plant species *Abies chensiensis*(濒危植物秦岭冷杉种群数量动态)[J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 15(6):1799-1804
- Zhao LQ(赵凌泉), Xiao LG(肖立国), Wang LG(王立刚), et al. 2000. Dynamics and progress of research on the protection forest science(防护林科学研究动态及发展趋势)[J]. Protection Fore Sci Tech(防护林科技), 2(4):85-87
- Zheng Z(郑卓). 1998. Study of human disturbance to the vegetation in recent thousands of years in the coastal areas of Southeast China(近几千年华南沿海地区植被的人为干扰)[J]. Ecol Sci(生态科学), 17(2):29-36

(上接第 115 页 Continue from page 115)

- 竞争的研究)[J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 29(2):242-250
- Duan RY(段仁燕), Huang MY(黄敏毅), Wu GL(吴甘霖). 2008. Study on intra-and interspecific competition of *Pinus taiwanensis*(天柱山黄山松种内与种间竞争的研究)[J]. Guihaia(广西植物), 28(1):78-81
- Hu ZH(胡正华), Yu MJ(于明坚), Ding BY(丁炳扬), et al. 2003. Characteristics of *Pinus taiwanensis* community and species diversity in Gutian Mountain National Nature Reserve(古田山国家级自然保护区黄山松群落特征及物种多样性研究)[J]. Ecol Environ(生态环境), 12(4):436-439
- Hong W(洪伟), Wu CZ(吴承祯), Lan B(蓝斌). 1997. A general model for neighborhood interference index and its application(邻体干扰指数通用模型及其应用)[J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 21(2):149-154
- Li SR(李树人), Zhao Y(赵勇), Yan ZP(阎志平). 1997. Light ecological field of *Larix leoptolais* canopy(日本落叶松林冠层光生态场研究)[J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 8(2):123-126
- Nie AW(聂爱武). 2001. The exploitation of tour resource and protecting the ecological environment in Tianzhu Mountain(天柱山旅游资源开发与生态环境保护)[J]. Sci Tech Anhui(安徽科技), 9:12-13
- Pacala SW, Silander J. 1985. A neighborhood models of plant population dynamics. 1 Single-species models of annuals[J]. American Naturalist, 125:385-411
- Purves DW, Law R. 2002. Experimental derivation of functions relating growth of *Arabidopsis thaliana* to neighbor size and distance[J]. J Ecol, 90:882-894
- Song DQ(宋丁全), Jiang ZL(姜志林), Zheng Z M(郑作孟), et al. 2002. Neighborhood interference index in *Betula luminifera* community(光皮桦群落邻体干扰指数的研究)[J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 21(3):15-17
- Weiner J. 1984. Neighborhood interference amongst *Pinus rigida* individuals[J]. J Ecol, 72:183-195
- Wu GS(吴巩固), Wang ZQ(王政权). 2000. Individual tree growth competition model in mixed plantation of Manchurian ash and dahurian larch(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]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 11(5):646-650
- Xiang YC(向言词), Peng SL(彭少麟), Cai XA(蔡锡安). 2003. Changes in plant competition with the development of gaps(林窗中植物竞争强度随林窗发育的变化)[J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 27(1):99-102
- Zhang YX(张跃西), Zhong ZC(钟章成). 1999. Advances of neighborhood interference among woody plants(木本植物邻体干扰研究进展)[J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 18(2):55-59
- Zhang YX(张跃西). 1993. Study on the improvement and application of the neighborhood interference index model(邻体干扰指数模型的改进及其在营林中的应用)[J]. Acta Phytoecol Geobot Sin(植物生态学与地植物学学报), 17(4):352-357
- Zou CJ(邹春静), Xu WD(徐文锋). 1998. Study on intraspecific and interspecific competition of *Picea mongolica*(沙地云杉种内种间竞争的研究)[J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 22(3):269-274