

# 山西稀有濒危植物脱皮榆种内和种间竞争<sup>\*</sup>

王晓霞 张钦弟<sup>\*\*</sup> 毕润成 白玉芳

(山西师范大学生命科学学院, 山西临汾 041004)

**摘要** 通过对山西太岳山一块 100 m×100 m 样地中 128 株脱皮榆对象木及 1093 株竞争木的调查,运用 Hegyi 的单木竞争指数计算分析了脱皮榆的种内和种间竞争强度。结果表明:(1)脱皮榆种群所受到的竞争强度随着对象木胸径的增大而逐渐减小;(2)调查样地内尽管其他物种种类较多,但数量较少,与脱皮榆种间竞争相对较弱,脱皮榆种内与种间竞争关系的顺序为:脱皮榆-脱皮榆>千金榆-脱皮榆>五角枫-脱皮榆>茶条槭-脱皮榆>其他树种-脱皮榆;(3)竞争强度和对象木胸径的关系服从幂函数关系,当脱皮榆胸径在 25 cm 以上时,竞争强度变化不大,所得的预测模型能很好地预测脱皮榆种内种间竞争强度。

**关键词** 脱皮榆;种内竞争;种间竞争;竞争指数

**中图分类号** Q948 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)7-1756-06

**Intra- and inter-specific competition of rare and endangered plant *Ulmus lamellosa* in Shanxi Province of China.** WANG Xiao-xia, ZHANG Qin-di<sup>\*\*</sup>, BI Run-cheng, BAI Yu-fang (College of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen 041004, Shanxi, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(7): 1756–1761.

**Abstract:** Based on the field investigation data of 128 *Ulmus lamellosa* target trees and 1093 competing species individuals in a 100 m×100 m sampling plot in Taiyue Mountain of Shanxi, this paper analyzed the intra- and inter-specific competition intensities of *U. lamellosa* by using Hegyi's competition index (*CI*). The intraspecific competition intensity of *U. lamellosa* decreased gradually with its increasing DBH. In the plot, there were many other species, but their individual number was fewer than that of *U. lamellosa*, and thus, the interspecific competition intensity of *U. lamellosa* was relatively weaker than its intraspecific competition. The order of the intra- and inter-specific competition intensities was *U. lamellosa*–*U. lamellosa* > *Carpinus cordata*–*U. lamellosa* > *Acer elegantulum*–*U. lamellosa* > other species–*U. lamellosa*. The relationships between the competition intensity and the DBH of *U. lamellosa* followed the equation  $CI = AD^{-B}$ . When the DBH of *U. lamellosa* reached 25 cm, the competition intensity had less change, and the model could well simulate and predict the intra- and inter-specific competition intensities of *U. lamellosa*.

**Key words:** *Ulmus lamellosa*; intraspecific competition; interspecific competition; competition index.

竞争是指两个或两个以上有机体共同所需的环境资源或者环境空间有限,而相互产生的作用,是影响植物生长、植物形态特征和植物生存的主要因素之一(孙澜等,2008;蒋国梅等,2010)。因此,不论是种内竞争还是种间竞争,一直被认为是研究植物

生长、种群性质、种群动态、演替规律和生产力的关键问题(Cortini & Comeau, 2008; 申瀚文等, 2012)。植物种群的竞争能力不仅取决于其本身的生物学特性,也受到其他生物和非生物因素的影响。竞争的结果不仅影响个体的生存、生长和繁殖,而且影响种群空间分布、动态和群落的物种多样性(Yokazawa *et al.*, 1998; 刘彤等, 2007)。国内许多学者针对不同的物种采用不同的竞争指数模型研究物种的种内种间竞争能力(邵国凡, 1985; 尚进等, 2003; 张跃西和

<sup>\*</sup> 山西省化学优势重点学科建设项目(912019)、山西省青年科技研究基金项目(2013021030-3)、山西师范大学校科学研究基金项目(ZR1218)和山西师范大学生命学院科学研究基金项目(SMYKZ-19)资助。

<sup>\*\*</sup> 通讯作者 E-mail: zhangqd2008@gmail.com

收稿日期: 2012-11-28 接受日期: 2013-04-06

钟章成,2003;封磊等,2004)。在众多的竞争指数模型中,以 Hegyi 于 1974 年提出的单木竞争指数模型预测效果最好(方坚等,2007),这个指数不仅反映了林木个体生长与生存空间的关系,而且反映了林木对环境质量的需求与现实生境下林木对环境资源占有量之间的关系(张池等,2006;张莉等,2012)。

脱皮榆(*Ulmus lamellosa*)又称沙包榆,是榆科(Ulmaceae)落叶乔木,系国家二级保护的珍稀濒危植物(上官铁梁等,1998)。该种属于中国特有,仅分布于黄土高原东部边缘和华北平原交界处,山西南部是其分布中心之一(毕润成等,2001)。迄今,对脱皮榆的生物学研究仅见细胞生物学(杜盛等,1994;杜盛和闰美杰,1996)和分子生物学(闫桂琴等,2004)方面,对脱皮榆生态学方面的研究有生态学特性(毕润成等,2002)、种群结构与分布格局(茹文明等,2007)、种群生态位(毕润成等,2003)及物种多样性(毕润成等,2001)。由于脱皮榆生境特殊(阴湿且多裸露岩石)以及受人类活动的影响,使脱皮榆种群处于濒危状态。野外调查发现,脱皮榆的幼苗虽然较多,但幼树较少,究其原因,是与其自身的繁殖存在一定的阻碍有关,还是由于其本身或其他种的竞争激烈尚不明确。本文以山西太岳山脱皮榆为研究对象,采用 Hegyi 竞争指数模型研究其种内种间关系,对于揭示脱皮榆种群的动态变化规律、更好地保护及恢复脱皮榆资源具有重要的理论价值和实践意义。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究地点位于太岳山国家森林公园北段石膏山林场内,石膏山地处山西晋中灵石东南部(111°53'E—111°59'E, 36°41'N—36°47'N,海拔 1000 ~ 2532.6 m)。属暖温带大陆性季风气候,因地形复杂,沟道狭长,相对垂直高差大,气候凉爽,雨量充沛,年均气温 9 ~ 10 °C,年均降水量 550 ~ 650 mm,无霜期 153 d,现有森林面积 2646 hm<sup>2</sup>,森林覆盖率 82%。主要组成树种有侧柏(*Platycladus orientalis*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、白皮松(*P. bungeana*)、辽东栎(*Quercus wutaishanica*)、鹅耳枥(*Carpinus turczaninowii*)、五角枫(*Acer elegantulum*)等。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 数据采集 选择石膏山脱皮榆群落具有代

表性的地段(海拔 1310 ~ 1420 m、坡度 30 ° ~ 40°、坡向北偏东、有轻微人为干扰),设置一块 100 m × 100 m 的样地,利用相邻网格法将样地分成 10 m × 10 m 的样方 100 个。对样地内胸径 ≥ 5 cm 的所有乔木树种的胸径、树高和冠幅及其在样地中的坐标(X,Y)进行调查。

**1.2.2 竞争范围的确定** 随机从样地中选择对象木 20 株,以每棵对象木为圆心,设置样圆。分别计测半径为 1 ~ 22 m(级差为 1 m)的圆内竞争木的平均竞争强度,然后对所得结果进行分段拟合,作出不同样圆半径与竞争强度间的回归关系图(段仁燕和王孝安,2005)。如果 2 个拟合方程均达到显著水平,而且  $R^2$  最大,则该点即为转折点,该点对应的样圆半径即为竞争木的竞争范围。

**1.3 数据统计** 由于样地边缘的对象木,其竞争木可能处于样地之外,因此本文所选对象木的范围为 80 m × 80 m,在每个样方内随机选取 2 株脱皮榆为对象木,以确定的竞争范围为半径作圆,定义圆内的所有树木为竞争木,计算竞争木与对象木之间的距离。

本研究采用 Hegyi 竞争指数模型计算竞争指数的大小,计算方法如下:

$$CI_i = \sum_{j=1}^N D_j \cdot D_i^{-1} \cdot L_{ij}^{-1}$$

$$CI = \sum CI_i$$

式中, $i$  为对象木的数量; $j$  为竞争木的数量; $CI_i$  为第  $i$  株对象木的竞争指数; $D_i$  为对象木  $i$  的胸径(cm); $D_j$  为竞争木  $j$  的胸径(cm); $L_{ij}$  为对象木  $i$  与竞争木  $j$  之间的距离(m); $N$  为第  $i$  株对象木的竞争木数量; $CI$  为种群的竞争指数。 $CI$  值越大,表明树种之间的竞争越激烈,即对象木所受的竞争压力越大。

## 2 结果与分析

### 2.1 竞争木范围的确定及对象木胸径对竞争范围的影响

对不同样圆半径与竞争强度间关系进行分段拟合(图 1)可知,4 m 为转折点。当范围 < 4 m 时,竞争强度明显上升较快;而在 > 4 m 时,竞争强度没有太大的变化。因此,就该区脱皮榆而言,最适宜的竞争范围为 4 m,即本文所确定的竞争木的竞争范围为 4 m。

不同径级脱皮榆的竞争半径存在着一定差异(表 1)。总的来看,在对象木周围一定范围内,不同

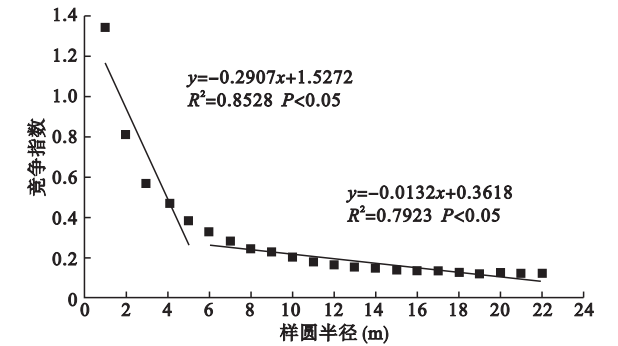


图 1 脱皮榆样圆半径和竞争强度的关系  
Fig. 1 Relationship of circularity radius and competition intensity (CI) in *Ulmus lamellosa*

表 1 脱皮榆胸径与竞争范围的关系  
Table 1 Relationship of DBH and competition range in *Ulmus lamellosa*

径级 (cm)	方程 1	竞争 范围(m)	方程 2
5 ~ 10	$y = -0.444x + 1.744$ ( $R^2 = 0.877, P < 0.05$ )	3	$y = -0.035x + 0.520$ ( $R^2 = 0.972, P < 0.05$ )
10 ~ 15	$y = -0.116x + 0.799$ ( $R^2 = 0.945, P < 0.01$ )	4	$y = -0.025x + 0.424$ ( $R^2 = 0.099, P < 0.01$ )
15 ~ 20	$y = -0.669x + 2.999$ ( $R^2 = 0.882, P < 0.05$ )	4	$y = -0.038x + 0.558$ ( $R^2 = 0.889, P < 0.05$ )
20 ~ 25	$y = -0.308x + 1.426$ ( $R^2 = 0.970, P < 0.05$ )	3	$y = -0.040x + 0.608$ ( $R^2 = 0.968, P < 0.05$ )
25 ~ 30	$y = -0.024x + 0.612$ ( $R^2 = 0.899, P < 0.05$ )	3	$y = -0.039x + 0.572$ ( $R^2 = 0.955, P < 0.05$ )

径级的脱皮榆平均竞争强度明显下降(如表 1 中方程 1 的斜率普遍比方程 2 的斜率大);而超出此范围的,下降趋势减弱(如表 1 中方程 2 的斜率普遍比方程 1 的斜率小)。可见,对象木胸径的不同对竞争半径有一定影响。

2.2 对象木及竞争木的基本情况

本研究共调查对象木 128 株,最小胸径为 5 cm,最大胸径为 32 cm,平均胸径为 14.3 cm。以胸径 5 cm 为径级将对象木按径级分组,其中,中小径级的脱皮榆占得比例较高,胸径≤25 cm 的占总株数的 86.72%,128 株对象木的胸径分布显示出林木趋于小龄化(图 2)。虽然石膏山的脱皮榆样地内其他树种种类多,但除主要竞争树种千金榆、五角枫外,其他树种的数量较少。竞争木共 1093 株,主要为脱皮榆、千金榆、五角枫、茶条槭等 14 种,隶属于 8 科 10 属,但树种的组成比例有较大差异(图 3)。

2.3 脱皮榆的种内和种间竞争

从竞争指数的角度出发,脱皮榆种群的竞争压力不仅受到竞争个体大小的影响,而且与竞争木种群的数量有直接关系(表 2)。脱皮榆的种内与种间

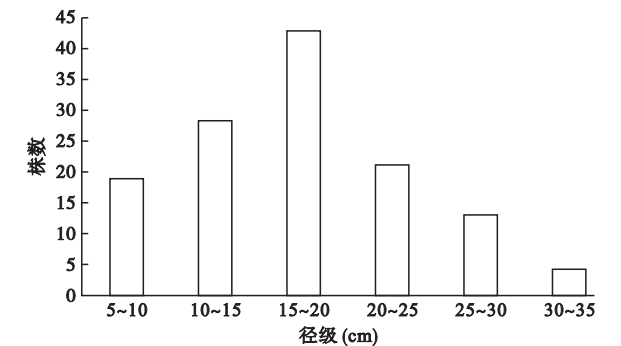


图 2 脱皮榆基株的胸径分布  
Fig. 2 DBH distribution of objective tree among *Ulmus lamellosa*

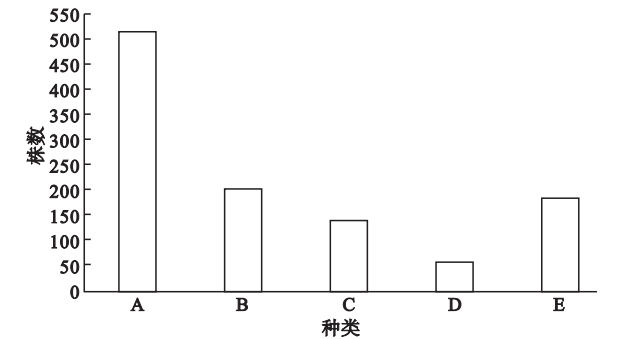


图 3 竞争木种类组成  
Fig. 3 Composition of competition tree species  
A:脱皮榆;B:千金榆;C:五角枫;D:茶条槭;E:其他树种。下同。

表 2 脱皮榆的种内和种间竞争强度  
Table 2 Intraspecific and interspecific competition intensity of *Ulmus lamellosa*

竞争木 径级 (cm)	种内竞争指数			种间竞争指数		
	株数	竞争 指数	平均竞争 指数	株数	竞争 指数	平均竞争 指数
5 ~ 10	111	34.057	0.307	172	44.162	0.257
10 ~ 15	209	82.676	0.396	234	100.766	0.431
15 ~ 20	101	63.174	0.625	110	58.512	0.532
20 ~ 25	60	50.754	0.846	41	26.015	0.635
25 ~ 30	33	28.181	0.854	14	11.689	0.835
30 ~ 35	3	3.224	1.075	5	7.617	1.523
总计	517	262.066	-	576	248.761	-

竞争强度均因对象木的径级不同而有很大差别(表 2)。竞争木的平均竞争强度总体上呈现随着径级的增加而增大的趋势(图 4)。

2.3.1 脱皮榆的种内竞争 脱皮榆在生长过程中不断与自身发生竞争,调查的竞争木中,脱皮榆共 517 株(表 2),种群的径级分布不均匀,胸径<25 cm 的个体占 93%,竞争指数占种内竞争指数的 88%。随着个体的发育,竞争能力逐渐增强,当胸径>25 cm 时,林冠发育基本定型,竞争逐渐减弱。

表 3 不同种类竞争木的竞争强度

Table 3 Competition intensity of different competitive species

种名	株数	占总株数的百分比 (%)	平均胸径 (cm)	平均树高 (m)	竞争指数	占总强度的百分比 (%)	平均竞争指数
脱皮榆 <i>Ulmus lamellosa</i>	517	47.30	14.28	9.21	262.066	51.26	0.507
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	202	18.48	12.49	8.38	89.212	17.45	0.442
五角枫 <i>Acer elegantulum</i>	137	12.53	13.39	8.34	61.345	12.00	0.448
茶条槭 <i>Acer ginnala</i>	55	5.03	12.96	8.25	24.140	4.72	0.439
白蜡 <i>Fraxinus chinensis</i>	47	4.30	13.76	8.70	18.626	3.64	0.396
山杨 <i>Populus davidiana</i>	42	3.84	12.23	7.95	16.387	3.20	0.390
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	16	1.46	11.81	8.04	9.014	1.76	0.563
葛萝槭 <i>Acer grosseri</i>	11	1.01	10.41	7.88	3.940	0.77	0.358
栎树 <i>Koelreuteria paniculata</i>	17	1.56	11.53	8.05	6.852	1.34	0.403
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	13	1.19	14.62	8.72	8.290	1.62	0.638
白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	13	1.19	12.15	8.35	4.452	0.87	0.342
油松 <i>Pinus tabuliformis</i>	10	0.91	11.40	8.46	3.161	0.62	0.316
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	7	0.64	11.00	7.57	2.017	0.39	0.288
辽东栎 <i>Quercus wutaishanica</i>	6	0.55	9.67	7.83	1.324	0.26	0.221
合计	1093	100	—	—	510.827	100	—

2.3.2 脱皮榆的种间竞争 来自种间竞争压力中, 胸径<20 cm 的树种产生的竞争压力最大(表 2), 占 81.8%。其中, 胸径在 5 ~ 10 cm 之间的树种, 虽然个体数量较多, 但由于个体较小等原因, 总体竞争强度不是太大。当胸径>20 cm 时, 单木的竞争指数增大, 但由于个体数量少, 总体的竞争强度不大。

脱皮榆种群的竞争压力不仅受竞争木胸径和数量的影响, 也因竞争木树种的不同有很大差异(表 3)。所调查的竞争木共 14 种, 其中, 竞争强度最大的是脱皮榆种群自身, 竞争指数为 262.066, 反映出现实的脱皮榆种群种内竞争强于种间竞争。其他树种由于个体数量较少, 除白桦外, 平均胸径都小于脱皮榆, 对脱皮榆不会产生较大的竞争影响。相比而言, 千金榆、五角枫对脱皮榆的竞争强度影响较大, 其次是茶条槭, 但远小于千金榆, 油松、侧柏、辽东栎

等种群对脱皮榆的竞争强度影响较小(表 3)。千金榆、五角枫对脱皮榆的竞争强度与其他竞争木存在明显差异, 为脱皮榆的主要竞争者, 这也从侧面反映了千金榆、五角枫与脱皮榆作为喜温暖湿润的植物具有相似的生态需求。脱皮榆种内和种间竞争强度的顺序依次为: 脱皮榆-脱皮榆>千金榆-脱皮榆>五角枫-脱皮榆>茶条槭-脱皮榆>其他树种-脱皮榆。

2.4 脱皮榆对象木胸径与竞争强度的关系及其预测

以平均竞争强度为因变量, 对象木胸径为自变量, 通过对线性、双曲线、幂函数和对数方程等数学模型模拟结果进行比较, 发现对象木胸径和竞争指数之间服从幂函数关系, 即:

$CI=AD^{-B}$

式中,  $CI$  为竞争指数,  $D$  为对象木胸径,  $A$ 、 $B$  为模型参数。显著性检验结果均达到极显著水平(表 4)。所有模型的幂值均为负值, 表明对象木的胸径越大, 受竞争木的竞争作用就越弱, 即脱皮榆种内种间竞争强度随对象木胸径的增大而降低。

表 4 竞争强度与对象木的胸径模型参数

Table 4 Model parameters of competition intensity and DBH of objective tree

项目	$A$	$B$	$R^2$	$P$
脱皮榆与整个林分	9.855	-1.183	0.641	<0.001
脱皮榆种内	8.510	-1.135	0.442	<0.001
脱皮榆与其他树种	7.299	-1.105	0.530	<0.001

$A$ 、 $B$  为回归模型  $CI=AD^{-B}$  的参数。

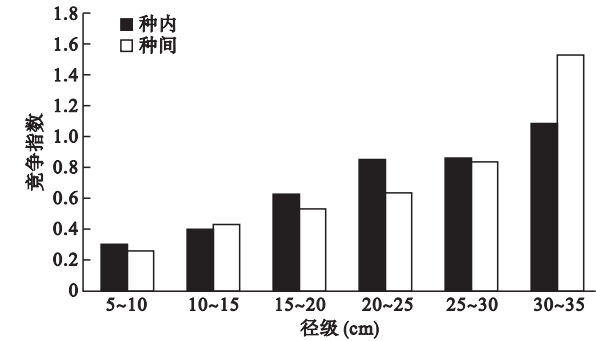


图 4 竞争木径级与竞争指数关系

Fig. 4 Relationship between diameter class of competitors and competition index



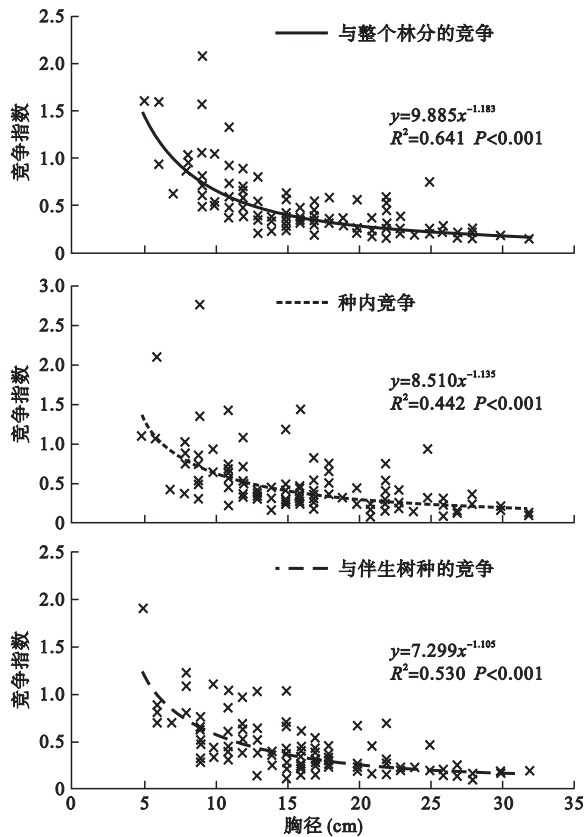


图 5 脱皮榆竞争指数与对象木的胸径回归曲线  
Fig. 5 Regression curves of competition index and DBH of *Ulmus lamellosa*

表 5 脱皮榆种内种间竞争指数与对象木胸径的模型预测  
Table 5 Model prediction of interspecific and intraspecific competition index and DBH

竞争类型	径级 (cm)					
	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	25 ~ 30	30 ~ 35
脱皮榆与整个林分	1.046	0.532	0.349	0.257	0.201	0.170
脱皮榆种内	0.985	0.516	0.344	0.256	0.203	0.173
脱皮榆与其他树种	0.894	0.476	0.321	0.241	0.192	0.164

由表 4 所求参数可得到不同竞争类型的回归曲线(图 5),当对象木胸径<25 cm 时,受到的竞争激烈。随着对象木胸径增大,所受的竞争强度降低,当对象木胸径>25 cm 时,竞争强度趋于稳定、变化不大。

将相应胸径  $D$  带入表 3 的模型中可以模拟和预测该胸径脱皮榆的种内种间竞争指数(表 5)。预测结果表明,脱皮榆种内种间竞争强度随对象木个体的增大而降低。当对象木胸径达到 25 cm 以上时,竞争强度的变化变缓。

3 讨论

3.1 竞争范围的确定

竞争不仅在理论上对解释群落的组成、结构和

演替有重要的意义,而且在实践中对指导森林生态系统中植被维护、恢复、物种保护等都具有更全面的作用。因此,学术界对竞争的研究日益重视(杨笑天,2012)。竞争范围大小的确定是研究植物个体间竞争的首要前提,只有真正了解竞争木具明显生态效应的竞争范围,才能保证研究结果的准确性和可靠性(刘彤等,2007)。在生态学上,植物的竞争分析不仅受室内实验方法的局限,而且野外试验中有关竞争范围的选择因缺乏统计学依据尚存在着较大的争议。20 世纪 60 年代以来,许多学者相继提出了一些确定竞争木范围的方法,主要有 3 个观点:(1)以基株周围一定范围内的植物为竞争木。(2)将一定范围内比对象木大的植株作为对象木。(3)以树冠的接触和遮荫状况为依据来确定竞争范围。(4)国外许多学者也提出了非距离依赖型的  $TPA$ 、 $BA$ 、 $SDL$ 、 $CCFL$ 、 $CCP$  等方法(Biging & Dobbertin, 1995)和距离依赖型的  $H$ 、 $ME$ 、 $B$ 、 $A$ 、 $CC$  等方法(Binging & Dobbertin, 1992)。目前,国内学者多采用第 1 种(邹春静和徐文铎,1998;邹春静等,2001;宋丁全等,2002)。本研究以脱皮榆为研究对象,采用逐步扩大样圆半径的方法,确定了脱皮榆的竞争范围为 4 m,这与野外自然状态下观测的脱皮榆的冠幅大小基本相符(4 ~ 5 m)。因此,采用此方法能准确地确定脱皮榆的竞争范围。

3.2 脱皮榆种内和种间竞争强度

植物的种内与种间竞争主要是由树种的密度、个体大小以及生态习性和生态幅度等决定的。脱皮榆的种内、种间竞争关系表明,无论是不同种类竞争木自身的竞争强度还是所有竞争木种间竞争强度之和,脱皮榆种内竞争均强于种间竞争。主要是因为脱皮榆是建群种,在群落中占优势,同种个体因具有相似的生态位需求,距离较近,数量较多,竞争强度最大。其他落叶树种如茶条槭、白桦等虽然也能进入林冠层,但数量较少,竞争指数不大,对脱皮榆的生长影响较小。此外,在野外调查中发现,脱皮榆个体高大,最高达 17 m,在资源和空间的利用上占明显优势,种间竞争强度较小。所调查的脱皮榆种群表现出的种内和种间竞争强度关系与经典的竞争理论相一致,即在一定条件下,有相似要求的物种可共存的前提是种内竞争大于种间竞争(Martin *et al.*, 2001)。

林木的竞争能力受多种因素制约,如植物个体大小、生长速度、不同发育阶段、个体生活力的高低

等,其中,个体胸径的大小对竞争强度的影响较大。不同径级的脱皮榆受到的种内和种间竞争强度有很大的区别,由于中小径级的脱皮榆生长速度快,上层林冠郁闭,密度调节发挥作用,争夺空间和资源的竞争激烈,受到种内和种间的竞争都很大。随着脱皮榆胸径的增大,脱皮榆种群因自疏作用,植株距离增加,种内竞争强度降低,特别是到了成熟阶段,保留下来的个体处于主林层,周围树种都有适合各自生存的资源空间,竞争逐渐减弱。因此,在脱皮榆天然林更新中,应采取择伐、人工抚育幼苗等措施来加强对中小径级脱皮榆的保护,合理经营和管理脱皮榆天然林,即在其胸径达到 25 cm 前适当进行人工抚育,以减少脱皮榆的竞争压力。

本研究采用线形、双曲线、幂函数和对数方程对各种竞争强度进行回归拟合,结果表明采用幂函数模型模拟的相关系数最大,故以此方程作为竞争强度预估模型。预估模型的预测结果表明,随着脱皮榆胸径的增大其受到的竞争压力减少,这是由于脱皮榆在幼龄阶段,个体小,处于林冠下层,虽然具备耐荫的特性,但周围的竞争木对空间等其他资源产生的竞争剧烈。随着个体的增大,脱皮榆逐渐占据一定的资源空间,与周围的竞争木也有了一定的适应,个体的竞争能力增强,因而受到个体的竞争逐渐减弱。这与方坚等(2007)对辽东栎(*Quercus wutaishanica*)及李尤等(2006)对珙桐(*Davidia involucrata*)的研究结果基本吻合。

综上所述,本文采用 Hegyi 竞争指数模型对脱皮榆种内、种间竞争的研究,揭示了脱皮榆在群落内、种群间的动态变化,这对于促进生态系统功能的完善以及森林植被的合理利用都有重要作用。

## 参考文献

毕润成, 陈李芳, 李培玉. 2001. 山西南部脱皮榆群落生态特征及其物种多样性的研究. 武汉植物学研究, **21**(2): 109-116.

毕润成, 张杰, 苏俊霞. 2002. 山西稀有濒危植物脱皮榆的生态学特征. 植物资源与环境学报, **11**(4): 45-50.

毕润成, 尹文兵, 王艳妮. 2003. 山西南部脱皮榆种群生态位的研究. 西北植物学报, **23**(7): 1266-1271.

杜盛, 古松, 谷瑞英. 1994. 脱皮榆离体培养中丛生芽形成与生长的研究. 内蒙古林学院学报, **16**(2): 24-28.

杜盛, 闰美杰. 1996. 脱皮榆离体培养再生植株的研究. 内蒙古林学院学报(自然科学版), **18**(4): 15-17.

段仁燕, 王孝安. 2005. 太白红杉种内和种间竞争研究. 植物生态学报, **29**(2): 242-250.

方坚, 王孝安, 郭华, 等. 2007. 黄土高原马栏林区辽东栎种内、种间竞争研究. 西北植物学报, **27**(2): 334-339.

封磊, 洪伟, 吴承祯. 2004. 杉木-拟赤杨人工混交林种内、种间竞争强度研究. 热带亚热带植物学报, **12**(6): 46-50.

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

蒋国梅, 孙国, 张光富, 等. 2010. 濒危植物宝华玉兰种内与种间竞争. 生态学杂志, **29**(2): 201-206.

刘彤, 李云灵, 周志强, 等. 2007. 天然东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)种内和种间竞争. 生态学报, **27**(3): 924-929.

茹文明, 张桂萍, 毕润成, 等. 2007. 濒危植物脱皮榆种群结构与分布格局研究. 应用与环境生物学报, **13**(1): 14-17.

尚进, 李旭光, 石胜友. 2003. 重庆涪陵磨盘沟杪罗种群结构与分布格局研究. 西南农业大学学报, **25**(3): 197-199.

邵国凡. 1985. 关于林木竞争数量指标. 林业译丛, (1): 1-6.

申瀚文, 鄢前飞, 曾思齐, 等. 2012. 木荷次生林种内和种间竞争研究. 中南林业科技大学学报, **32**(4): 81-85.

宋丁全, 姜志林, 郑作孟, 等. 2002. 光皮桦群落邻体干扰指数的研究. 生态学杂志, **21**(3): 15-17.

孙澜, 苏智先, 张素兰, 等. 2008. 马尾松-川灰木人工混交林种内、种间竞争强度. 生态学杂志, **27**(8): 1274-1278.

闫桂琴, 任鹰, 张变红, 等. 2004. 三种木本植物基因组 DNA 的提取及纯度检测. 山西师范大学学报(自然科学版), **18**(1): 72-77.

杨笑天. 2012. 森林群落竞争研究述评. 青海农林科技, (1): 29-33.

上官铁梁, 马子清, 谢树莲. 1998. 山西省珍稀濒危保护植物. 北京: 中国科学技术出版社.

张池, 黄忠良, 李炯, 等. 2006. 黄果厚壳桂种内与种间竞争的数量关系. 应用生态学报, **17**(1): 22-26.

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.

张跃西, 钟章成. 2003. 亚热带次生常绿阔叶林优势种间的竞争效应与竞争反应. 应用与环境生物学报, **9**(4): 333-335.

邹春静, 韩士杰, 张军辉. 2001. 阔叶红松林树种间竞争关系及其营林意义. 生态学杂志, **20**(4): 35-38.

邹春静, 徐文铎. 1998. 沙地云杉种内、种间竞争的研究. 植物生态学报, **22**(3): 269-274.

Binging GS, Dobberty M. 1992. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. *Forest Science*, **38**: 695-720.

Biging GS, Dobberty M. 1995. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *Forest Science*, **41**: 360-377.

Cortini F, Comeau PG. 2008. Evaluation of competitive effects of green alder, willow and other tall shrubs on white spruce and lodgepole pine in Northern Alberta. *Forest Ecology and Management*, **255**: 82-91.

Martin RG, William KL, Debrap P. 2001. Intensity of intra- and interspecific competition in coexisting shortgrass species. *Journal of Ecology*, **89**: 40-47.

Yokazawa M, Kubota Y, Hara T. 1998. Effects of competition mode on spatial pattern dynamics in plant communities. *Ecological Modelling*, **106**: 1-16.

作者简介 王晚霞,女,1990年生,研究方向为植物生态学。  
E-mail: xiaoxia19900123@163.com  
责任编辑 张敏