

濒危植物秦岭冷杉种群数量动态 \*

张文辉<sup>1,2,\*</sup> 许晓波<sup>2</sup> 周建云<sup>2</sup> 谢宗强<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 天津师范大学, 天津 300074; <sup>2</sup> 西北农林科技大学, 杨凌 712100; <sup>3</sup> 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093)

**【摘要】** 为了对濒危植物秦岭冷杉种群数量动态评价和预测, 通过样地调查和数据统计, 研究了秦岭冷杉种群的年龄结构、静态生命表及其与环境因子关系, 运用时间序列模型预测了种群数量动态。结果表明, 多数秦岭冷杉种群幼龄级个体数较少, 中老龄个体数量较大, 呈衰退趋势。仅处于低海拔地区的秦岭冷杉-木蓝-苔草群丛中的种群(D 种群) 由于立地条件较好, 幼龄级个体数量相对丰富, 种群稳定。不同秦岭冷杉种群生命表和存活曲线的分析表明, 尽管生境条件差异, 但存活曲线基本接近 Deevey 型; 不同种群偏离典型存活曲线的程度与幼苗缺乏程度有关, 一般 ~ 龄级死亡率较高。时间序列分析表明, 在未来 20、40 和 80 年中, 不同秦岭冷杉种群均会呈现老龄级株数先增后减的趋势, 种群稳定性长期维持困难。对影响秦岭冷杉种群增长的 10 个环境因子通过主成分分析(PCA) 发现, 乔木层盖度、土壤有机质含量和空气湿度对种群发挥有利影响, 而人为干扰和光照强度对秦岭冷杉种群增长发挥不利影响。应充分利用秦岭冷杉性喜荫、耐寒、种子活力较强的特点, 加强现有林分就地保护, 重点是具有结实能力的中老龄个体; 在阴坡地带, 对林下灌木比较密集的群丛, 通过砍灌、清理林下活地被物等抚育措施, 为幼苗发育创造良好的环境条件; 就地采种育苗, 扩大人工种群。

**关键词** 年龄结构 生命表 存活曲线 环境因子 时间序列

**文章编号** 1001-9332(2005)10-1799-06 **中图分类号** Q948.3 **文献标识码** A

**Population dynamics of endangered plant species** *Abies chensiensis*. ZHANG Wenhui<sup>1,2</sup>, XU Xiaobo<sup>2</sup>, ZHOU Jianyun<sup>2</sup>, XIE Zongqiang<sup>3</sup> (<sup>1</sup> Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China; <sup>2</sup> Northwest Sci Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China; <sup>3</sup> Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(10): 1799 ~ 1804.

In order to know the endangered status and causes of *Abies chensiensis* in Qinlin Mountains, a field investigation on 18 plots was conducted on its age structure, life table and fecundity, and its population dynamics were predicted by time sequence model. The analysis on the age structure of *Abies chensiensis* populations showed that there were fewer young individuals, but middle-aged and old individuals were relatively rich. The population D in *Abies chensiensis*-*Indigofera amblyanthra*-*Carex lanceolata* association showed a relatively stable development tendency, while other four populations (A, B, C and E) in *Abies chensiensis*-*Pinus tabulaeformis*-*Sinarundinaria nitida*-*Carex lanceolata* association, *Abies chensiensis*-*Quercus aliena* var. *acuterrata*-*Litsea pungens*-*Carex lanceolata* association, *Abies chensiensis*-*Betula albosinensis*-*Sinarundinaria nitida*-*Duchesnea indica* association, and *Abies chensiensis*-*Pinus tabulaeformis*-*Smilax stans*-*Carex lanceolata* association all showed an obviously declining tendency. The analysis on the life tables and survival curves showed that the survival curve of *Abies chensiensis* populations belonged to Deevey, and the death peak of different populations was in the period of 60 ~ 100 years old. The number difference among populations reflected the population habitat. Time sequence prediction indicated the numbers of old individuals would be increased at the beginning, and decreased finally in 20, 40, and 80 years. It was difficult to maintain the population stability. Analysis on 10 ecological factors showed that tree coverage, soil organisms and air humidity influenced population positively, and human disturbance and sunlight influenced population negatively. *In situ* conservation should be taken as the most important management countermeasure, and natural regeneration should be promoted. At the same time, artificial population should be expanded.

**Key words** Age structure, Life table, Survival curve, Environmental factor, Time sequence.

1 引 言

研究植物种群不同生境条件下的年龄结构、存活曲线和生命表不仅可以反映种群现实状况, 还可以展现植物种群与环境适应的结果, 尤其对于濒危植物保护和利用具有特殊而重要的意义<sup>[1,6,12,13,20]</sup>。秦岭冷

杉(*Abies chensiensis*)为我国特有、属国家三级重点保护植物<sup>[2,23]</sup>。秦岭冷杉分布区狭小, 呈岛屿化分布于陕西、甘肃、四川、河南秦巴山地和湖北北神农架地

\* 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KSCX2-SW-104-04)。  
\* 通讯联系人。  
2004-10-25 收稿, 2005-04-04 接受。

区,海拔 1 300 ~ 2 300 m,以秦岭南坡分布较为集中<sup>[5,11,22]</sup>.由于过度利用,秦岭冷杉林已经退化,有些地区已经消失.秦岭冷杉濒危状况引起国内不少学者关注.近年来,有关秦岭冷杉分布方面研究报道较多<sup>[2,4,5,11,25]</sup>.但有关秦岭冷杉种群动态和濒危原因方面探讨还未见报道.本文目的是通过对不同生境秦岭冷杉种群的年龄结构、生命表、存活曲线研究,以及对种群数量的预测,阐明种群数量动态及未来发展趋势及其与环境因素关系,提出种群保护与恢复策略与对策.

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

本研究的秦岭冷杉种群位于秦岭中段略阳、宁陕和周至

表 1 秦岭冷杉不同种群所在群落中的环境因子

Table 1 Environmental factors in the associations where *Abies chensiensis* populations lived

环境因子 Environment factors	种群 A Population A	种群 B Population B	种群 C Population C	种群 D Population D	种群 E Population E
1 海拔 Altitude(m)	1 600	1 700	2 000	1 500	1 900
2 坡向 Slope aspect	东北 NE	北 N	西北 NW	北 N	东南 SE
3 坡度 Gradient(°)	18	37	22	12	35
4 坡位 Slope site	中上 MU	中上 MU	下 L	下 L	中下 ML
5 乔木层盖度 Coverage of tree layer(0~1)	0.75	0.70	0.65	0.85	0.5
6 光照强度 Light(Lux)	25 000	37 500	82 200	16 410	63 500
7 气温 Air temperature(°C)	21.5	20.8	16.2	22.2	19.4
8 空气湿度 Air humidity(%)	67	71	67	78	73
9 土壤厚度 Thickness of soil(cm)	77	55	35	85	45
10 土壤 pH 值 Soil pH	6.4	6.2	6.1	6.5	6.2
11 土壤有机质含量 Organic matter content of soil(0~10 cm)(%)	7.6	6.9	4.3	7.9	4.6
12 土壤水分含量 Water content of soil(0~10 cm)(%)	31	28	23	35	25
13 种群平均密度 Mean density(plant/100 m <sup>2</sup> )	10	9.78	5.33	14.83	3.43
14 人为干扰强度 Intensity of human disturbance(0~1)	0.3	0.4	0.5	0.2	0.7
15 样地数量 Plot number	3	4	3	5	3

NE:Northeast,N:North,NW:Northwest,SE:Southeast,MU:Middle upper,ML:Middle lower,L:Lower.

2.2 研究方法

2.2.1 样地调查 经充分踏查后,考虑不同群落类型和生境条件的代表性,在不同群落中布设 20 m ×20 m 的样地 18 块(表 1).每块样地内沿对角线设 5 m ×5 m 灌木样方 3 个,1 m ×1 m 草本样方 3 个.调查内容:1)生境:地形地貌,人为干扰、土壤、气象、坡向、坡位.2)群落学特征:群落组成、高度、盖度等,方法见文献<sup>[3,21,23]</sup>.3)乔木树种测定:以样地一边为 X 轴,以其垂直边作为 Y 轴建立平面直角坐标系,记录每一株秦岭冷杉和乔木种的坐标值,测定胸径(幼苗量基径)、树高和冠幅<sup>[3,21,22]</sup>.4)秦岭冷杉年龄确定:胸径小于 3 cm,利用其轮生枝条或基部直径确定年龄;胸径大于 3 cm,用胸径确定年龄.选择各样地的平均木 1~2 个,分别量胸径,用生长锥钻取年轮条,室内显微镜下检查年轮数;参考原西北林学院保存的 2 株秦岭冷杉解析木资料予以修正;求不同年龄的胸径平均值.解析木之一,宁陕菜子坪,处于阴坡山坡下部海拔 1 850 m,林内;解析木之二,宁陕菜子坪,处于阴坡山坡中部海拔 1 600 m,林内.以海拔 1 800 m 为界分两组,分别作两区域年龄与胸径关系图、拟合曲线(图 1),得到胸径与

县(107°11'32"~108°20'09"E,33°20'18"~33°49'36"N),海拔 1 500~2 100 m.当地属温带气候,年平均气温 7~8℃,年降水量 1 000~1 100 mm,生长期 190 d 左右.土壤以山地棕壤为主,pH 5.5~6.5<sup>[7]</sup>;植被类型主要是以巴山冷杉(*A. fargesii*)、秦岭冷杉为主的温带针叶林或与红桦(*Betula albosinensis*)形成的针阔混交林<sup>[4,5,22]</sup>.根据树种组成、群落结构和生境条件,秦岭冷杉林可以划分为 5 个类型<sup>[25]</sup>.本研究将同一群丛中秦岭冷杉个体作为一个种群<sup>[3]</sup>.5 个种群分别是:种群 A,秦岭冷杉+油松(*Pinus tabulaeformis*)-箭竹(*Sinarundinaria nitida*)-苔草(*Carex lanceolata*)群落;种群 B,秦岭冷杉+锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuterrata*)-木姜子(*Litsea pungens*)-苔草群落;种群 C,秦岭冷杉+红桦-箭竹-蛇莓(*Duchesnea indibica*)群落;种群 D,秦岭冷杉-木蓝(*Indigofera amblyantha*)-苔草群落;种群 E,秦岭冷杉+油松-鞘柄菝葜(*Smilax stans*)-苔草群落.不同种群的生境概况见表 1.

年龄的关系方程(两方程分别经过  $\chi^2$  检验,均达到极显著水平( $P < 0.01$ )).

$$y = 6.20157 + 2.2579 \times 10^{15} \times (1 - (-d/2.3676 \times 10^{15})) + 19.58566 \times (1 - (-d/1.50845))$$

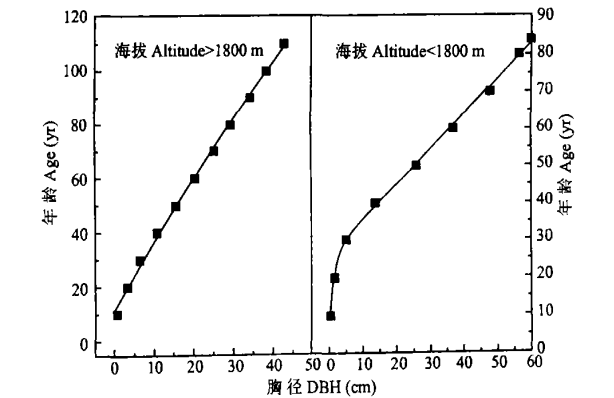


图 1 不同海拔区间秦岭冷杉年龄与胸径的关系  
Fig. 1 Relationship between age and DBH of *Abies chinensis* at different altitude.



表 2 秦岭冷杉种群标准生命表  
Table 2 Standard life table of *Abies chensiensis* population

龄级 Age class $x$	存活数 Survival number $a_x$	存活量 Survival $l_x$	死亡量 Death number $d_x$	死亡率 Mortality rate $q_x$	区间寿命 Span life $L_x$	总寿命 Total life $T_x$	期望寿命 Life expect $e_x$	$\ln a_x$	$\ln l_x$	消失率 Vanish rate $K_x$
	0.86	227.61	-772.39	-3393.50	613.80	2182.03	9.59	-0.15	5.43	-1.48
	3.78	1000.00	271.72	271.72	864.14	1568.22	1.57	1.33	6.91	0.32
	2.75	728.28	468.91	643.86	493.82	704.08	0.97	1.01	6.59	1.03
	0.98	259.37	196.44	757.37	161.15	210.26	0.81	-0.02	5.56	1.42
	0.24	62.93	54.11	859.81	35.88	49.11	0.78	-1.44	4.14	1.96
	0.03	8.82	0.00	0.00	8.82	13.23	1.50	-3.40	2.18	0.00
	0.03	8.82	0.00	0.00	4.41	4.41	0.50	-3.40	2.18	2.18

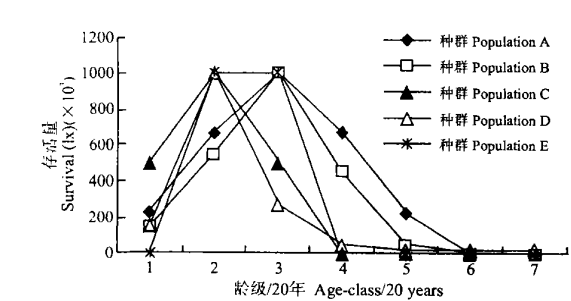


图 3 秦岭冷杉不同种群存活曲线  
Fig. 3 Survival curves of different *Abies chensiensis* populations.

具有扩展潜力,说明濒危植物并不是所有种群都呈衰退特征,只要改善环境条件,种群恢复与扩展是有希望的;4)、龄级个体存在,说明种群具有较长

的生殖期,未来经营措施中需要注意保护这些有生殖能力的个体.

### 3.3 秦岭冷杉种群数量动态时间序列预测

以秦岭冷杉各种群各龄级株数为原始数据,按照一次平均推移法预测出各龄级在未来 20 年、40 年及 80 年后的株数,将结果绘成年龄与株数关系图<sup>[15,21]</sup>.从图 4 可以看出,秦岭冷杉各种群各龄级株数峰值在预测序列中依次向后推移,老龄个体逐渐增多,幼龄株数更显不足,最终老龄株数也呈急剧减少的衰退势态.可以推断,由于缺乏可更新的幼龄个体,如不采取适当的护林抚育措施,秦岭冷杉种群未来必然趋于衰退.

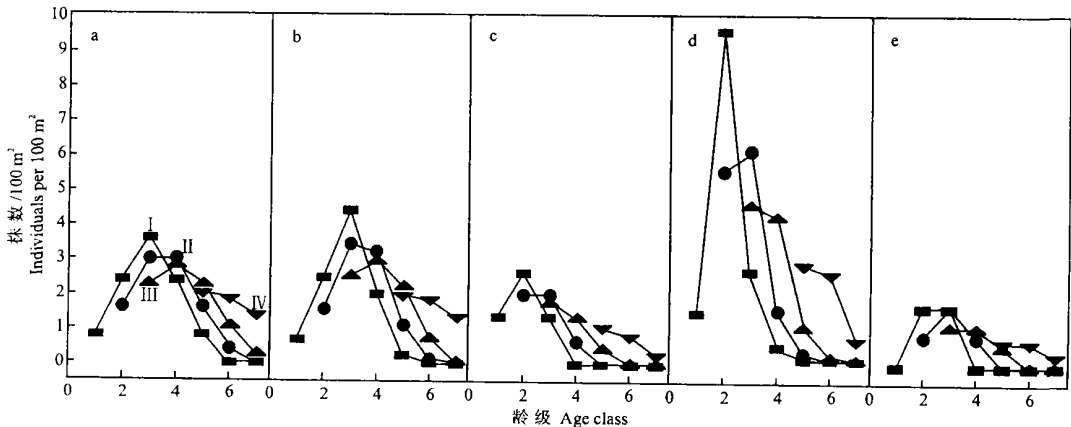


图 4 秦岭冷杉各种群数量动态时间序列预测  
Fig. 4 Time sequence prediction of number dynamics of different *Abies chensiensis* populations.

a) 种群 A Population A ;b) 种群 B Population B ;c) 种群 C Population C ;d) 种群 D Population D ;e) 种群 E Population E. . 原始数据 Original data ; . 20 年后 20 years after ; . 40 年后 40 years after ; . 80 年后 80 years after.

### 3.4 环境因子对秦岭冷杉种群增长的影响

为了明确到底哪些生态因子对秦岭冷杉种群增长更为重要,本文从表 1 中选择了 10 个相对独立的环境因子对其进行了主成分分析,得到表 3 的结果.从表 3 可以看出,第一、第二主分量累积贡献率达到 92.6%,说明前两个主分量对秦岭冷杉种群影响起到绝对作用.其中乔木层盖度负荷量为 0.952、土壤

有机质含量为 0.900、人为干扰为 -0.978.乔木层盖度决定林下光照条件,乔木层盖度大对种群更新有利;土壤有机质含量代表养分程度,对种群发育有利;人为干扰导致成年秦岭冷杉种群个体减少,对种群更新不利.光照强度负荷量为 -0.812,说明光照对种群更新不利.此外,土壤厚度(0.834)、土壤含水率(0.816)、种群密度(0.894)也对种群发展有利.在

表 3 不同环境因子的贡献率和主分量值  
Table 3 Contribution rate and principal component value of different environmental factors

环境因子 Environmental factor	主分量 Component 1	主分量 Component 2
1 乔木层盖度 Coverage of tree layer(0~1)	0.952	0.102
2 光照负荷量 Light (Lux)	- 0.812	- 0.534
3 气温 Temperature ( )	0.639	0.680
4 空气湿度 Humidity( %)	0.069	0.908
5 土壤厚度 Thickness of soil(cm)	0.834	0.510
6 土壤 pH 值 Soil pH	0.750	0.583
7 土壤有机质含量 Organic matter content of soil(0~10 cm) ( %)	0.900	0.373
8 土壤含水率 Water content of soil(0~10 cm) ( %)	0.816	0.573
9 种群平均密度 Mean density(plant/ 100 m <sup>2</sup> )	0.894	0.367
10 人为干扰强度 Intensity of human disturbance(0~1)	- 0.978	- 0.097
各分量贡献率 Contribution rate( %)	64.679	27.935
累计贡献率 Accumulative contribution rate( %)	64.679	92.614

第二主分量中,空气湿度对种群生长影响较大(0.908),有利于种群生长.综合分析秦岭林区生境条件,可以推断,低海拔地区的河谷阴坡地带林间空地,散射光丰富,空气湿度和土壤肥力较高,人为干扰少,对秦岭冷杉种群发育较为有利,是种群生存的适生环境.恢复秦岭冷杉种群,应充分利用有利的自然因素,减少不利因素.

4 讨 论

秦岭冷杉林面积减少与人为破坏有关,而种群衰退趋势与其生物学特性有关.以秦岭林区的宁陕、周至县为例,20 世纪 50 年代时曾有较大面积秦岭冷杉林,60 年代森工企业进入后,冷杉成为主伐对象,并且实行皆伐,使秦岭冷杉林面积大幅度减少.目前秦岭冷杉的种群年龄结构呈现幼龄级个体数较少,中老龄个体数量大,表明种群呈衰退趋势.这与银杉(*Cathaya argyrophylla*)、攀枝花苏铁(*Cycas panzhihuaensis*)、鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)等十分相似<sup>[7,8,16]</sup>.这可能是古老、长寿命的子遗濒危物种的共同特征.喜光树种,在自然条件下,只要有足够种源,出现林窗,这些种群幼苗就可能发育<sup>[18]</sup>.而秦岭冷杉喜凉湿气候,不仅需要种源,还需要阴湿的阴坡林窗环境.秦岭冷杉以种子繁殖,只有足够数量的种子产量才能满足种群更新所需<sup>[6,13]</sup>.但实际上秦岭冷杉结实量间隔期在秦岭林区为 3~5 年,个体产种量和种子成苗率低,种群恢复更困难.因此,秦岭冷杉种群衰退状态与自身适应能力差有关.

秦岭冷杉种群存活曲线接近 Deevey 型.但是,如果要包括 、龄级,秦岭冷杉种群存活曲线并不完全符合 Deevey 型.这是幼龄个体数量少,中老龄个体多的濒危植物种群的特有现象,说明植物种群幼苗缺乏程度<sup>[12,17,18]</sup>.对种群数量的时间序

列预测表明,除 D 种群幼树资源相对丰富外,其它种群随时间推移,不同秦岭冷杉种群均会呈现老龄级株数先增加后减少的趋势,缺少幼龄株数补充是共同特征.对依靠种子繁殖的秦岭冷杉种群来说,增加结实量,提高种子向幼苗转化率是种群恢复的关键环节.只要提高成年个体种子生产能力,提高种子向幼苗的转化率,秦岭冷杉种群恢复潜力还是存在的.

秦岭冷杉种群产种在增长过程中受到多方面环境因素的影响,起有利作用的因素包括乔木层盖度、土壤有机质含量和空气湿度;不利因素主要是人为干扰和直射光照.秦岭冷杉原生境土壤偏酸性、气候晾湿,个体生长前期阶段需要遮荫,因此,不应提倡迁地保护或者在平原地区公园和城市绿化中使用,而应当加强对现有林分保护.针对秦岭冷杉性喜荫、抗寒的生态学特性<sup>[2,4,5,11]</sup>,在土壤、水分较好的阴坡地带,通过间伐、砍灌、清理林下活地被物等抚育措施,建立小面积林窗,营造对秦岭冷杉幼苗发育有利生境.应该促进成年个体结实,提高天然条件下的种子发芽率.在种子丰产年,适时、采收种子,建立苗圃,扩大人工种群.

参考文献

1 Crawley MJ. 1986. Plant Ecology. London:Blackwell Scientific Publications. 97~185  
2 Di W-Z(狄维忠), Yu Z-Y(于兆英). 1987. The First Set of the Chinese Rare or Endangered Plants in Shanxi Province. Xi'an: Northwest University Press. 72~75 (in Chinese)  
3 Dong M(董 鸣), Wang Y-F(王义凤), Kong F-Z(孔繁志). 1996. Standard Methods for Observation and Analysis in Chinese Ecosystem Research Network, Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities. Beijing:China Standards Press. 20~81 (in Chinese)  
4 Editorial Board of China's Forest (中国森林编辑委员会). 1999. China's Forest. Beijing:China Forestry Press. 631~779 (in Chinese)  
5 Editorial Board of Shanxi's Forest (陕西森林编辑委员会). 1986. Shanxi Forest. Xi'an:Shanxi Science and Technology Press & China Forestry Press. 153~156 (in Chinese)  
6 Fuchsa MA, Krannitzb PG, Harestad AS. 2000. Factors affecting emergence and first-year survival of seedlings of Garry oaks (*Quercus garryana*) in British Columbia, Canada. *For Ecol Man*, **137**:209~219  
7 He S-A(贺善安), Hao R-M(郝日明). 1999. Study on the natural population dynamics and the endangering habitat of *Liriodendron chinense* in China. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **23**(1):87~95 (in Chinese)  
8 He Y-H(何永华), Li C-L(李朝奎). 1999. The ecological geographic distribution, spatial pattern and collecting history of *Cycas panzhihuaensis* populations. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **23**(1):23~30 (in Chinese)  
9 Jiang H(江 洪). 1992. Study on Population Ecology of *Picea asperata*. Beijing:China Forestry Press. 33~78 (in Chinese)  
10 Larcher W. 1995. Physiological Plant Ecology. 3rd ed. New York, Berlin:Springer-Verlag. 279~448  
11 Lei M-D(雷明德). 1999. Shanxi Vegetation. Beijing: Science

- Press. 57 ~ 108, 448 ~ 490 (in Chinese)
- 12 Li N(李楠). 1999. On Origin, Dispersion, Distribution of Pinaceae. In: Lu A-M(路安民) ed. Family and Genera Geography of Seed Plant. Beijing: Science Press. 17 ~ 39 (in Chinese)
  - 13 Manuel C, Molles J. 2002. Ecology, Concept and Applications. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Company. 186 ~ 254
  - 14 Wu C-Z(吴承祯), Hong W(洪伟), Xie J-S(谢金寿), et al. 2000. Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **11**(3): 333 ~ 336 (in Chinese)
  - 15 Xie Z-J(谢衷洁). 1990. Time Sequence Analysis. Beijing: Peking University Press. 88 ~ 145 (in Chinese)
  - 16 Xie Z-Q(谢宗强), Chen W-L(陈伟烈). 1994. The present status and the future of endemic plant *Cathaya argyrophyllain*. *Biodiv Sci* (生物多样性), **2**(1): 11 ~ 15 (in Chinese)
  - 17 Yan G-Q(阎桂琴), Zhao G-F(赵桂仿), Hu Z-H(胡正海), et al. 2001. Population structure and dynamics of *Larix chinensis* in Qinling range. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **12**(6): 824 ~ 828 (in Chinese)
  - 18 Zhang F(张峰), Shangguan T-L(上官铁梁). 1992. The age structure and dynamic feature of *Pinus tabulaeformis* population in Yunmeng Mountain, Shanxi Province. *Wuhan Bot Res* (武汉植物学研究), **10**(4): 321 ~ 324 (in Chinese)
  - 19 Zhang J-T(张金屯). 1995. Mathematical Ecology Method of Plantation. Beijing: China Science and Technology Press. 123 ~ 177 (in Chinese)
  - 20 Zhang L-Q(张利权). 1991. Density and biomass dynamics of *Pinus taiwanensis* in Songyang county, Zhejiang Province. *Acta Phytocool Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), **15**(3): 216 ~ 223 (in Chinese)
  - 21 Zhang W-H(张文辉). 1998. The Population Ecology on *Adenophora lobophylla*. Haerbin: Northeast Forestry University Press. 56 ~ 108 (in Chinese)
  - 22 Zhang W-H(张文辉), Wang Y-P(王延平), Kang Y-X(康永祥), et al. 2005. Spatial distribution pattern of *Larix chinensis* population in Taibai Mt. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **16**(2): 207 ~ 212 (in Chinese)
  - 23 Zhang W-H(张文辉), Lu Z-J(卢志军). 2002. A study on the biological and ecological property and geographical distribution of *Quercus variabilis* population. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), **22**(5): 1093 ~ 1101 (in Chinese)
  - 24 Zhang W-H(张文辉), Wang Y-P(王延平), Kang Y-X(康永祥), et al. 2004. Age structure and time sequence predication of populations of an endangered plant, *Larix potaninii* var. *chinensis*. *Biodiv Sci* (生物多样性), **12**(3): 361 ~ 369 (in Chinese)
  - 25 Zhang W-H(张文辉), Xu X-B(许晓波), Zhou J-Y(周建云), et al. 2004. Distribution and biorecological characteristics of *Abies chensiensis*, an endangered plant. *Chin Biodiv Sci* (生物多样性), **12**(4): 419 ~ 426 (in Chinese)
  - 26 Zhang W-H(张文辉), Zu Y-G(祖元刚), Liu G-B(刘国彬). 2002. Population ecological characters and analysis on endangered cause of ten endangered plant species. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **22**(9): 1512 ~ 1520 (in Chinese)
  - 27 Zheng Y-R(郑元润), Zhang X-S(张新时), Xu W-D(徐文铎). 1997. Model forecast of population dynamics of spruce on sandy land. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), **21**(2): 130 ~ 137 (in Chinese)
  - 28 Zhou J-L(周纪纶), Zheng S-Z(郑师章), Yang C(杨持). 1992. Plant Population Ecology. Beijing: Higher Education Press. 71 ~ 80 (in Chinese)
  - 29 Zhu N(祝宁), Zang R-G(臧润国). 1993. Population ecology of *Acanthopanax senticosus*. Population structure. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **4**(2): 113 ~ 119 (in Chinese)
  - 30 Zhu N(祝宁), Zang R-G(臧润国). 1994. Population ecology of *Acanthopanax senticosus*. Population statistics. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **5**(3): 237 ~ 240 (in Chinese)

---

作者简介 张文辉,男,1955年生,博士,教授.主要从事保护生物学和生物多样性保护研究,发表论文多篇. Tel:029-87082611; E-mail: zwhckh@163.com

---