

濒危植物秦岭冷杉生殖生态学特征

张文辉¹, 许晓波², 周建云²

(1. 天津师范大学, 天津 300074; 2. 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100)

摘要:为了探索秦岭冷杉种群生殖生态学主要特征, 通过样地调查、固定样地观测和室内实验分析, 系统研究了秦岭地区 5 个秦岭冷杉(*Abies chensiensis*)种群生殖特性及其与环境因素的关系, 结果表明, 5 个不同生境的种群都具有结实能力, 海拔 1500 ~ 1600 m 之间, 秦岭冷杉球果的产量较高; 各种群球果主要分布在树冠中上部 and 东、南、西方向; 球果以中部产生饱满种子比率最高; 秦岭冷杉种子千粒重为 43.2 g, 其中具有生活力者占 44.8%, 种子的平均含水量为 5.7% 左右; 在天然林散落条件下, 种子库的萌发率仅为 6.1%, 霉坏、搬运率 93.9%; 人工播种条件下, 种子发芽率在苗圃内高于天然条件下, 中低海拔高于高海拔地区。天然条件下, 由种子转化成幼苗的过程是秦岭冷杉种群生活史的脆弱环节。秦岭冷杉林经营管理要以就地保护为主, 促进种群生殖; 要通过森林经营措施, 为林下种子萌发和幼苗创造条件; 种子脱落后, 要及时扰动林下灌木、草本, 使种子能够顺利落地, 促其发芽成苗; 种子大年要注意采种、育苗, 扩大人工种群; 速生丰产林培育应该以中低海拔的阴坡为主。

关键词:濒危植物; 秦岭冷杉; 种子与球果; 生殖生态学

文章编号: 1000-0933(2006)08-2417-08 中图分类号: Q948 文献标识码: A

Study on reproduction ecology of endangered species *Abies chensiensis*

ZHANG Wen-Hui¹, XU Xiao-Bo², ZHOU Jian-Yun² (1. Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China; 2. Northwest A&F University, Yangling 712100, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2417 ~ 2424.

Abstract: Qinling fir, *Abies chensiensis*, is endemic to China and was listed in the China Plant Red Data Book as one of the third class conserving plants. It is only found scattered in the forested pockets of the Qinling, Bashan and Shennongjia mountains from 1 300 m to 2200 m ALT in Shaanxi, Gansu, Henan, Sichuan and Hubei provinces. To conserve and restore effectively this species and explore its processes of reproduction, the production characteristics of cone and seed yields, seed bank dynamics, seed germination rates of 5 *Abies chensiensis* populations (A, B, C, D, E respectively in *Abies chensiensis*-*Pinus tabulaeformis*-*Sinarundinaria nitida*-*Carex lanceolata* association, *Abies chensiensis*-*Quercus aliena* var. *acuterrata*-*Litsea pungens*-*Carex lanceolata* association, *Abies chensiensis*-*Betula albo-sinensis*-*Sinarundinaria nitida*-*Duchesnea indica* association, *Abies chensiensis*-*Indigofera amblyantha*-*Carex lanceolata* association and *Abies chensiensis*-*Pinus tabulaeformis*-*Smilax stans*-*Carex lanceolata* association) were studied in their natural habitat across 18 plots in the Qinling mountains area. Experiments were carried out in laboratory and field conditions. The results showed the five populations all had potential to produce seeds, and the higher yield occurred in the lower and middle altitude areas every 3-5 years. The most cones appeared on the upper and middle foliage of the tree, and the west, south and east aspects of the crown, and the most of full seed appeared on the middle position of the cone. The weight per 1000 seeds was 43.2 g, in which 44.8% had growing potential. The germination rate of seeds in natural forest was 6.1% and the proportion of seed lost or destroyed in different populations in natural forest was 93.9%. The germination rate of seed that planted in the nursery was higher than that in natural forest, and the germination rate in the lower or middle altitude populations was higher than that in the upper altitude. The course from seed to seedling was the critical period in the life cycling

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KSCX2-SW-104-04)

收稿日期:2005-06-16; **修订日期:**2006-01-20

作者简介:张文辉(1955~), 男, 陕西岐山人, 博士, 教授, 主要从事植物生态和生物多样性保护教学与科研工作. E-mail: zwhckh@163.com

Foundation item: The project was supported by CAS' Knowledge Innovative Project(No. KSCX2-SW-104-04)

Received date: 2005-06-16; **Accepted date:** 2006-01-20

Biography: ZHANG Wei-Hui, Ph.D., Professor, mainly engaged in plant ecology and biodiversity.

of *A. chensiensis* populations under natural condition. Reproduction courses were influenced positively by an abundant of tree layer coverage; organic material in the soil, thick soil and a dense population of parent trees, while influenced negatively by human disturbance and light. In situ conservation should be carried out in the future on the *A. chensiensis*, so as to promote population reproduction. Thinning the shrub layer and grass layer will also help seeds to penetrate the soil, promoting seeds germination. The artificial population should be expanded by collecting seeds in good harvest years. Fast-growing and high-yield plantations should be developed on cloudy slopes at lower or middle altitudes.

Key words: endangered plant; *Abies chensiensis*; cones and seeds; reproduction ecology

以有性繁殖为主的植物,其种子产量、天然条件下发芽率、成苗定居率是生活史中最关键的环节,关系到种群能否实现更新与维持^[1,2]。研究濒危植物种群从种子产生到幼苗形成的一系列生物学过程及其与之有关的生态因子,对揭示种群濒危机理和促进种群恢复有重要意义。

秦岭冷杉(*Abies chensiensis*)属国家二级重点保护野生植物,为中国特有^[3]。由于自然更新能力差,加之长期的过度利用,秦岭冷杉仅岛屿化分布于我国甘肃、陕西、河南、四川、湖北亚热带与暖温带过度的中高山地带,海拔 1500~2100 m,多为散生,很少见到纯林^[3-5]。秦岭山区的宁陕、略阳、镇安、佛坪海拔 1500~2000 m 范围,是秦岭冷杉比较集中的分布区。国内学者对秦岭冷杉分布、濒危状态、群落特征已有报道^[6-13]。最近,赖江山、孙玉玲、张文辉等报道了秦岭冷杉地理分布、群落特征、个体生物学、球果、种子特性等方面的研究结果^[9-13];但种群生殖生态学方面研究不多。本文通过对秦岭冷杉天然林中种群生殖生态特征、种子特性及其在天然林下萌芽实验研究,目的是阐明秦岭冷杉种群生殖基本特征及其与环境因素关系,为种群恢复与有效经营管理提供依据。

1 研究地自然概况与研究方法

1.1 自然概况

研究区域位于陕西秦岭林区的宁陕、略阳、镇安及佛坪县,处于北亚热带向暖温带过渡地区(107°11'32"~108°20'09"E, 33°20'18"~33°49'36"N),海拔 1500~2100m。该区年平均降雨量 800~1240 mm,年均温 12~15.7℃;森林棕壤或森林褐土, pH 值 5.5~6.5^[7]。本区域主要植被类型是针阔混交林或针叶林,主要树种是巴山冷杉(*A. fargesii*)、秦岭冷杉、红桦(*Betula albo-sinensis*)等。秦岭冷杉在此地域相对密集,有时可以形成小片纯林群落^[3]。张文辉等人将秦岭地区的秦岭冷杉林划分成 5 个群丛,各群丛的秦岭冷杉所有个体为一个种群,可以将秦岭冷杉分成 5 个种群^[10]:秦岭冷杉-木蓝(*Indigofera amblyantha*)-苔草(*Carex lanceolata*)群丛中为种群 A;秦岭冷杉+油松(*Pinus tabulaeformis*)-箭竹(*Sinarundinaria nitida*)-苔草群丛中为种群 B;秦岭冷杉+锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuterrata*)-木姜子(*Litsea pungens*)-苔草群丛中为种群 C;秦岭冷杉+油松-鞘柄菝葜(*Smilax stans*)-苔草群丛中为种群 D;秦岭冷杉+红桦-箭竹-蛇莓(*Duchesnea indica*)群丛中为种群 E。不同群丛的生境概况见表 1。本文以种群为单位,进行生殖生态学方面的调查与统计分析。

1.2 球果产量与特征统计

分别在秦岭冷杉林 5 个群丛中(生境条件见表 1)设置样地 18 块,进行群落学和生态因子调查。样地设置与调查方法见文献^[10,14]。2002~2005 年连续观测球果大小年变化。在球果丰年(2003 年),选择秦岭冷杉生长较好,结实个体较多的样地,选择结实量最大的个体 12 株(胸径 8~15cm,高 9~16m),当球果成熟但种鳞尚未张开时,爬树分东、南、西、北四个方向,上、中、下三个层次查球果数量,每株母树从树冠中部各方向摘球果 12~30 个,如果母树树冠中部球果数量不足 12 个,从相应方向树冠上下部补充。各株母树的球果分别包装。从各群丛每一母树中随机取出 5 个球果,混合后作为各群丛球果、种子测定样本。在球果种鳞未脱落时,分别测定每个球果长、宽,种子数量等;球果储藏数天后,种子种鳞自然脱落,经过充分混合后测定种子质量、吸水、发芽特性,进行野外和室内实验。

1.3 种子特性测定与野外实验

① 种子质量测定:从每个种群(群丛)中随机取种子 100 粒,在 45℃ 的恒温下烘干至恒重,分析其种子的含水率,测定千粒重;查其中的霉坏、病虫害、空壳等非饱满种子率;对剩余的饱满种子采用四唑染色法(TTC)测定生活力,取平均值。② 种子吸水试验:在每个种群从烘干种子中取 90 粒,3 次重复,每重复 30 粒,置于充分吸水的滤纸上,在 20℃ 下进行吸水试验,满 2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22、24、28、32h 以及种子萌动时,分别将表面水分吸干后称重,绘制吸水曲线。③ 将经过沙藏和 5℃ 干藏处理的种子,分别在苗圃地和采种的样地内播种(4 月中旬),10 月观测发芽粒数,计算发芽率。④ 在不同群丛样地中,选择结实个体比较密集的区域,设置 1 m × 1 m 的小样方 3 个,定期观测秦岭冷杉自然散落种子的萌发率、损失率等种子库动态特征。

1.4 不同种群环境因子测定

主要环境因子见表 1。环境因子 1~11 为各群丛不同样地调查的平均值,其中 1、2 用 GPS 的定位数据;土壤取样是在 2003 年 7 月 19~24 日 6d 内完成,土壤水分采用烘干法测定;土壤有机质采用重铬酸钾法测定;土壤 pH 值采用 ZD-2 型(广东东莞吉之垄电子仪器)电位滴定计测定;5~7 的测定于 2003 年 7 月下旬选择晴天,分别在 5 种林下固定位置,测定 6 个日进程(7:00,10:00,13:00,15:00,18:00),取其平均值。其中温度、湿度和光照测定分别利用了 DHM2 型通风干湿温度计(天津气象仪器厂)、ZDS-10 型光照计(上海仪表),均在距地面 0.5m 处测定^[15];因子 13 为人为赋值:扰最大为 1,最小为 0,各群落干扰程度是根据调查结果人为赋值^[15]。利用 Spss(10.0 版本)统计软件对相对独立环境因子进行主成分分析,分析环境因子中哪些是影响秦岭冷杉生殖的主要因子。

表 1 秦岭冷杉不同种群所在群丛中的环境因子

Table 1 The environmental factors in the association where *Abies chensiensis* population lived

种群类型 Population type	环境因子 Environmental factors				
	种群 Population A	种群 Population B	种群 Population C	种群 Population D	种群 Population E
1 海拔 Altitude(m)	1500	1600	1700	1900	2000
2 坡向 Slope aspect *	北 N	东北 NE	北 N	东南 SE	西北 NW
3 坡位 Slope site *	下 L	中上 MU	中上 MU	中下 ML	下 L
4 乔木层盖度 Coverage of tree layer(0~1)	0.85	0.75	0.70	0.5	0.65
5 光照 Light(lx)	16410	25000	37500	63500	82200
6 气温 Temperature(℃)	22.2	21.5	20.8	19.4	16.2
7 空气湿度 Air humidity(%)	78	67	71	73	67
8 土壤厚度 Thickness of soil(cm)	85	77	55	45	35
9 土壤 pH 值 Soil pH	6.5	6.4	6.2	6.2	6.1
10 土壤有机质含量 Organism content of soil(0~10cm)(%)	7.9	7.6	6.9	4.6	4.3
11 土壤水分含量 Water content of soil(0~10cm)(%)	55	51	48	45	43
12 种群平均密度 Mean density(株/100m ²)	14.83	10	9.78	3.43	5.33
13 人为干扰强度 Intensity of human disturbance(0~1)	0.2	0.3	0.4	0.7	0.5

* NE = northeast, N = north, NW = northwest, SE = southeast, MU = middle upper, ML = middle lower, L = lower

2 结果与分析

2.1 不同种群生殖能力分析

球果在树冠上的分布格局:植物结实格局的形成是植物种群与环境长期适应的结果,也是种群为适应特定环境所采取的生殖对策。图 1 为秦岭冷杉球果在树冠不同方向的格局。树冠北向球果量最小,东、南、西向球果量相对较大;随着海拔增高,球果在树冠方向上的差异更为明显。图 2 是秦岭冷杉球果分布随树冠层位的变化格局。秦岭冷杉树冠上层的球果明显多于中下层;随着海拔增加,球果数量在冠层差异有减少的趋势。这说明尽管秦岭冷杉是耐荫树种,但充分的光照对秦岭冷杉开花、结实又有积极意义。

不同种群球果产量:球果数量影响着种子的产量,在一定程度上反映了植株对后代的贡献能力。秦岭冷杉不同种群球果产量的大小年变化具有同步性,在 2002~2005 年期间,只有 2003 年出现较大规模结实,其他年份结实量零星。因此本文讨论的结果是秦岭地区球果丰年的结果。表 2 是 2003 年的不同种群的调查结

果,显示不同种群平均单株产球果量,就种群总体而言,单株球果产量最小为 8 个,最大为 326 个,平均为 111.6 个,种群内个体间球果产量变异幅度大,种群间球果产量变异幅度也大。方差分析表明,不同种群的秦岭冷杉单株产球果量差异显著(表 2, $p < 0.05$)。在海拔 1500 ~ 1600 m 之间,秦岭冷杉球果的产量最大,随着海拔的升高,个体产球果的数量逐渐降低;球果产量与树高、胸径和冠幅成正相关($p < 0.05$)。

不同种群球果特征及产籽量:从不同秦岭冷杉种群内,随机取球果 30 枚,统计显示,球果直径在 2.7 ~ 5.0cm 之间,球果长在 5.4 ~ 12.4 cm 之间(表 3)。不同种群秦岭冷杉球果长、宽均存在显著差异($p < 0.05$)(表 3),说明秦岭冷杉球果形态特征受环境条件影响较大。以每个球果产饱满种子的粒数表示产种量,5 个种群平均单个球果产种量为 207.9 粒。随着海拔升高,单个球果产种量先升高后降低,种群之间存在显著差异($p < 0.05$)(表 3)。图 3 展示了不同种群球果不同部产种量的空间格局。可以看出,各种群饱满种子以球果中部产种最多。从雌球花要发育成具有饱满种子的球果,其受粉、胚胎发育等生物学过程中的环境条件必须得到满足,产种量大的种群环境条件相对优越,产种量小的种群环境条件可能较差,导致了种群间的球果形态、个体产种量、球果空间分布格局差异。球果的数量或者产种量反映种群生殖能力^[16]。在未来森林经营中,应该通过不同经营措施,调整光照,促进种群开花结实。

表 2 秦岭冷杉不同种群单株球果产量

Table 2 Cones yield of individual tree of different *Abies chensiensis* populations

种群类型 Population type	母树特征平均值 Mother tree mean characteristic				球果产量 Cone yield (number)		
	样本数 Sample number	胸径 DBH(cm)	高度 Height(m)	冠幅 Crown width(m)	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean
A	12	14	15.3	5.6 × 6.4	196	326	254 ± 56.1c
B	12	12	13	5.3 × 5.9	43	269	134.6 ± 95.1a
C	12	10	11.5	4.5 × 4.9	21	141	82.8 ± 51.0a
D	12	8	9.4	3.5 × 3.8	8	22	14.4 ± 5.6b
E	12	9	10.6	4.6 × 4.8	20	181	72.2 ± 67.6a
平均 Total	12	10.6	11.96	4.7 × 5.16	8	326	111.6 ± 100.2

* 经过单因素方差分析,字母不同,表示种群间有显著差异($p < 0.05$) The differences of letters indicate significant difference between populations after one way ANOVA($p < 0.05$)

2.2 种子质量分析

种子生活力分析:表 4 展示了不同种群种子生活力状况。在种群总和中,500 粒秦岭冷杉种子中具有生活力的种子 224 粒,占 45%,饱满但无生活力的种子 120 粒,占 24%,其余为腐坏、病虫危害、空壳为 31%。这说明秦岭冷杉更新困难不仅是种子量少的问题,而且种子生活力也比较弱。

(1)种子千粒重 千粒重是种子质量的重要参数,千粒重越大说明其内包含的营养物质越多,对种子萌发生长越有利。通过对各种群种子千粒重的统计比较,表明不同生境种群的种子千粒重存在差异,低海拔种群

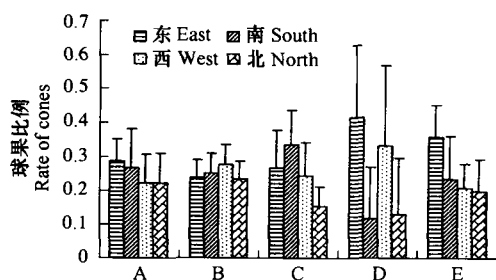


图 1 秦岭冷杉不同种群球果分布随树冠方位的分布格局

Fig.1 Distribution pattern of cones distribution with the direction of crown of different *Abies chensiensis* populations

A, B, C, D, E 同表 1, 示不同种群 Population A, B, C, D, E indicate different populations which is the same as the table 1, the following fig. is the same

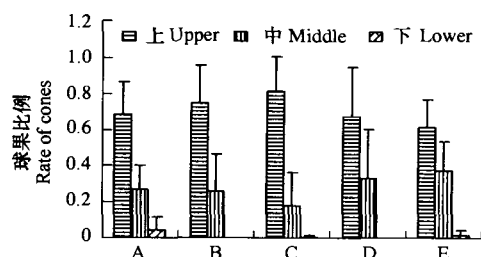


图 2 不同秦岭冷杉种群球果在树冠层位上的分布格局

Fig.2 Distribution pattern of cones on crown position e for different *Abies chensiensis* populations

A 种子千粒重较大,而高海拔的种群 E 种子千粒重最小(图 4),说明环境因素对其有重要影响。

(2)种子含水量 种子含水量的高低对其所带微生物和昆虫的活动以及种子呼吸作用的性质和强度影响很大,是决定种子耐贮藏性和寿命力的重要因素^[17]。经过对储藏了 1a,具有活力的种子含水率为 5.7% 左右,说明秦岭冷杉耐储藏能力较好。在贮藏秦岭冷杉种子时,保持阴凉干燥环境可延长种子寿命。但对于秦岭冷杉种子贮藏时间与其生命力的关系,还需进一步研究。

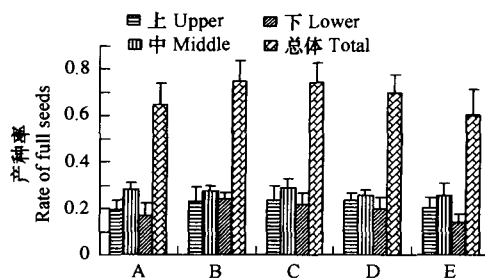


图 3 秦岭冷杉不同种群球果不同部位产饱满种子分布格局

Fig. 3 The full seed productivity pattern per cone of different *A. chensiensis* populations

表 3 秦岭冷杉不同种群球果特征及其单果产种量比较

Table 3 Comparison of cone characteristics and its seed productivity per cone of different *Abies chensiensis* populations

种群类型 Population type	样本数 Sample number	最小值 Minimum (cm)		最大值 Maximum (cm)		平均值 Mean (cm)		平均单果产种量 Average seed number
		宽 Width	长 Length	宽 Width	长 Length	宽 Width	长 Length	
A	30	2.8	5.7	3.9	10.2	3.38a ± 0.3	8.2b ± 1.0	175.9b ± 46.9
B	30	2.7	6.5	4.1	12.4	3.5a ± 0.3	9.4a ± 1.4	227.7a ± 30.1
C	30	3.0	7.05	5.0	12.3	3.9b ± 0.7	9.6a ± 1.5	239.7a ± 37.1
D	30	3.2	6.1	4.9	12.2	4.1b ± 0.5	9.6a ± 1.6	214.8a ± 48.1
E	30	2.9	5.4	4.1	9.5	3.5a ± 0.3	7.9b ± 0.9	181.3b ± 39.8
平均 Mean	30	2.7	5.4	5.0	12.4	3.7 ± 0.5	8.9 ± 1.5	207.9 ± 47.7

* 不同字母表示种群之间差异性显著 ($p < 0.05$) The different letters indicate that there is significant differences among the different populations ($p < 0.05$)

表 4 秦岭冷杉不同种群种子活力测定及千粒重

Table 4 The seed viability and weight pre 1000 seeds of different *A. chensiensis* populations

种群类型 Population type	测定种子数 Seed number measured	非饱满种子 Non-full seed				饱满种子 Full seed			千粒重 Weight pre 1000 seeds (g)
		霉坏数 Rotten seed number	病虫害数 Blight seed number	空粒 Empty seed number	非饱满率 Non-full seed ratio (%)	无活力粒数 Debility number	有活力粒数 Colored number	生活力 Vital ratio (%)	
A	100	6	2	27	35.0	20	45	45.0	46.16a ± 0.85
B	100	7	0	18	25.0	31	44	44.0	44.12b ± 0.22
C	100	2	0	24	26.0	32	42	42.0	43.53b ± 0.38
D	100	4	2	25	31.0	22	47	47.0	42.578b ± 0.34
E	100	12	6	21	49.0	15	46	46.0	39.59c ± 0.22
合计 Total	500	31	10	115	31.2	120	224	44.8	43.20 ± 0.51

2.3 种子实验

(1)不同种群秦岭冷杉种子吸水萌发过程 根据秦岭冷杉种子在吸水过程中的重量变化,计算种子的吸水量,再根据含水率绘制各种群从秦岭冷杉种子的吸水曲线(图 4)。5 个群从种子的吸水基本呈 S 型曲线,符合一般种子吸水膨胀的规律^[18,19]。中低海拔地区的种群 A, B, C 吸水量大,吸水速度快,18h 以后可达到饱和程度;高海拔地区种群吸水量小,吸水速度缓慢,24h 以后达到饱和。5 个种群大致都在室温 25℃,经 32h 左右开始萌动,72h 后开始发芽。这说明高海拔地区种群种子种皮、内含物等结构与低海拔有差异,高海拔地区种子可能防护机能更强一些,这与种群适应高海拔地区严酷环境条件也有一定关系。

(2)不同生境条件人工播种的萌发率 为了证明储藏条件和播后环境条件对种子萌芽力的影响,对秦岭冷杉种子在播种前进行了不同处理。将不同种群的种子分为两份,一份用湿沙贮藏 4 个月,另一份 0~5℃ 条件下干燥贮藏 4 个月。于 2004 年 3 月 18 日分别播种于各群从的固定样地和宁陕菜子坪林场苗圃中,结果见表 5。可以看出,在同样贮藏条件下,播种于苗圃地比原始林地的发芽率高。在各群丛中,环境对发芽率影响

较大,低海拔地区种群(群丛 A)最高,为 26.67%,高海拔地区种群(群丛 E)最低,为 3.33%。苗圃地(海拔 1600m)土壤疏松,透气性能好,温度相对高,有利于秦岭冷杉种子的萌发。原始林地内不及苗圃环境条件,导致种子萌芽率低。不论是在原始林地,还是在苗圃地上,湿沙贮藏的发芽率高于干贮藏的种子发芽率。说明湿沙贮藏对秦岭冷杉种子萌芽有利。

2.4 不同种群种子库动态观测

种子脱落后的命运对种群能否更新起很大作用。秦岭冷杉种子成熟后,种鳞和种子于当年 9 月下旬开始散落,10 月下旬散落结束。散落结束后在不同秦岭冷杉群丛内,选择结果母树比较密集、结果量较大的林下,各设置固定样方 3 个,进行种子库动态初次调查,翌年 7 月进行两次复查,得到表 6 结果。可以看出,初次调查 5 个种群完好种子 294 粒,在经历了 9 个月之后,萌发率仅为 6.1%,而遭破坏(霉坏、虫咬、鼠害)和被搬迁(消失)种子占 93.9%。不同种群之间也有差异,低海拔地区发芽率较高。可见秦岭冷杉种群虽然有一定的结实能力,但自然条件下,由种子转化到幼苗过程是很脆弱的环节。

2.5 影响生殖的环境因素分析

为了明确哪些环境因子对秦岭冷杉种群生殖过程影响更为重要,本文从表 1 中选择了秦岭冷杉林地 10 个相对独立的环境因子对其进行了主成分分析,得到表 7 的结果。从中可以看出,前两个主分量的累积贡献率已经达到 92.6%,可满足分析需要。第一主分量贡献率达到 64.7%,其中乔木层盖度为 0.952、土壤有机质含量为 0.900、种群密度 0.894,土壤厚度 0.834。人为干扰为 -0.978,林内光照强度 -0.812。在第二主分量中,主要因素为空气湿度(0.908)。群落盖度增加林内湿度;土壤有机质含量高、土壤厚度大代表林地养分条

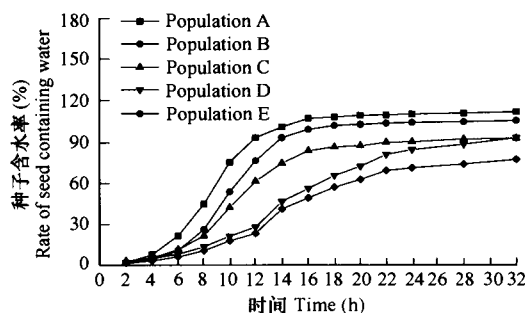


图 4 不同秦岭冷杉种群种子吸水过程
Fig. 4 The course of seed absorbing water for different *A. chensiensis* populations

件优越;种群密度代表生境适宜程度。这些都说明土壤水肥条件好,林分密度大,空气湿度大对种群生长发育有利。秦岭冷杉林是典型耐荫树种,喜凉湿环境条件,人为干扰、林内光照强度增加对种群生长发育产生不利影响。合理经营保护秦岭冷杉种群资源,就应充分利用有利的自然因素,抑制不利因素。

表 5 秦岭冷杉种子在天然林地与苗圃地内播种萌芽数量比较

Table 5 Seed germination comparison of *A. chensiensis* populations between natural forest land and nursery

种群 Population	播种环境 Seeding environment	播种数(粒) Sowed seed	发芽数(粒) Germinated seeds	发芽率(%) Germination rate	播前贮藏条件 Storage condition before planting
A	天然林地 Natural Forest	30	8	26.7	湿沙贮藏 4 个月 In wet sand for 4 months
A	天然林地 Natural Forest	30	6	20.0	干贮藏 4 个月 In dry for 4 months
B	天然林地 Natural Forest	30	5	16.7	湿沙贮藏 4 个月
B	天然林地 Natural Forest	30	3	10.0	干贮藏 4 个月
C	天然林地 Natural Forest	30	4	13.3	湿沙贮藏 4 个月
C	天然林地 Natural Forest	30	2	6.7	干贮藏 4 个月
D	天然林地 Natural Forest	30	2	6.7	湿沙贮藏 4 个月
D	天然林地 Natural Forest	30	1	3.3	干贮藏 4 个月
E	天然林地 Natural Forest	30	1	3.3	湿沙贮藏 4 个月
E	天然林地 Natural Forest	30	0	0.00	干贮藏 4 个月
	苗圃地 Nursery	100	54	54.00	湿沙贮藏 4 个月
	苗圃地 Nursery	100	48	48.00	干贮藏 4 个月

3 讨论

秦岭冷杉在秦岭地区分布最集中,说明秦岭是其生存比较适宜的区域。从本研究结果看出,尽管秦岭冷杉种群结实频率底,结实量少,但不同生境的种群都具有结实能力。只要出现合适环境条件,种群扩展潜力就

会得到释放。

表 6 秦岭冷杉不同种群林下固定样方中的种子数量动态

Table 6 The seed germination dynamics under forests of *A. chensiensis* populations

种群类型 Population type	样方数量 Plot number	初查种子数 Seed number in the first investigation	复查 The next examination					
			萌发数 Germination number	破坏数 Demolished seed number	被搬迁数 Moved seed number	萌发率(%) Seed germination ratio	破坏率(%) Demolished seed ratio	搬迁率(%) Moved seed ratio
A	3	88	8	16	64	9.2	18.2	72.7
B	3	64	5	11	48	7.9	17.2	76.6
C	3	73	4	13	56	5.8	17.8	76.7
D	3	39	1	5	33	2.3	12.8	84.6
E	3	30	0	6	24	0.0	20.0	80.0
合计 Total	15	294	18	51	226	6.1	17.3	76.6

* 初次调查时间:2003-10-26;复查时间:2004-07-23;表中数据为不同群丛中 3 个样方调查数据的平均值 The first investigation was 2003-10-26; the next investigation was 2004-07-23; the data in the table was average value

秦岭冷杉生殖过程中主要障碍是有效结实量少、种子生活力差。尽管单株产种量较高,但其种子生活力仅为 45%,在自然状态下的萌发率仅有 6.1%,再加上幼苗实现定居过程中的死亡率,能够真正渡过环境筛选发育成幼苗、幼树的个体数量更少。秦岭冷杉结实间隔期是 3~5a^[7,8],本次调查(2003 年)是秦岭地区秦岭冷杉种群的生殖大年,样地选择在结果母树较多地段,种群产种量和成苗量尚且如此之低,说明秦岭冷杉种群生殖能力低下是导致其走向濒危主要原因之一,生殖过程是种群生活史中最脆弱的环节。一般说,冷杉属植物产种量低,种子质量差是种群更新的主要问题^[11]。但相对来说,其他广布种类一般结实状况要好一些。据调查,分布在相似生境的巴山冷杉种群不仅生殖间隔期只有 1~2a,而且个体结实量是秦岭冷杉 1~2 倍。由于结实母树数量多,结实量大,能够形成大面积纯林。秦岭冷杉这种结实少、频率低的现象与其他孑遗类濒危植物有相似之处,如银杉(*Cathaya argyrophylla*)、鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)、太白红杉(*Larix chinensis*)等十分相似^[11,14,20],这可能是长寿命、多次结实古老种类共同特征。一般说,喜光植物比耐阴植物容易恢复^[1-3]。例如,太白红杉属于阳性植物,幼苗数量较少主要原因是林下郁蔽导致幼苗不能正常生长^[1]。而秦岭冷杉是典型耐阴植物,林下幼苗数量严重不足,说明秦岭冷杉本身在适应能力、生殖能力方面存在问题。

表 7 不同环境因子的贡献率和主分量值

Table 7 The ratio of contribution and 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 Light(lx)	-0.812	-0.534
3 气温 Temperature(℃)	0.639	0.680
4 空气湿度 Air 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 Organism content of soil(0~10cm)(%)	0.900	0.373
8 土壤水分含量 Water content of soil(0~10cm)(%)	0.816	0.573
9 种群平均密度 Mean density(株/100m ²)	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 Ratio of contribution (%)	64.679	27.935
累计贡献率 Accumulative ratio of contribution (%)	64.679	92.614

环境因素对种群生殖影响也很大。从总体情况看,中低海拔生境条件对种子产量、种子质量、天然林地种子发芽率都比较高,说明对其生长发育有利。主成分分析表明,对种群生殖起积极影响的环境因素是乔木层盖度、土壤有机质含量、土壤厚度和空气湿度。产生不利影响的因素是人为干扰、林内光照强度。此外,种子落地后,受到微生物(霉烂)、鼠类、鸟类危害。这些都说明环境因素在秦岭冷杉种群生殖过程中发挥了作用。

在秦岭冷杉林经营保护过程中应该以就地保护为主。对现有资源,应该充分利用有利的生态因素,抑制不利因素,促进种群生殖过程。应该注意保护成年结实个体,促进结实;在种子脱落后要及时扰动林下灌木、草本植物,使种子能够顺利落地;在种子大年注意采种子,通过育苗扩大人工种群;速生丰产林建设应该以中低海拔地区的阴坡为主;森林经营中,林下灌木不能过分茂密,但林间空地也不能过大,要尽量使林内湿度,为林下种子能够发育成幼苗创造条件。

References:

- [1] Zhang W H, Zu Y G, Liu G B. Population ecological characters and analysis on endangered cause of ten endangered plant species. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (9): 1512 ~ 1520.
- [2] Manuel C, J Molles. *Ecology, Concept and Applications* 2nd ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2002. 186 ~ 254.
- [3] Liu S F, Zhang J. Fuping nature reserve biodiversity research and protection. Xi'an: Shaanxi Scientific and Technology Press, 2003. 264 ~ 265.
- [4] Editorial Board of Shaanxi's Forest. *Shaanxi Forest*. Xi'an: Shaanxi Scientific and Technology Press & Chinese Forestry Press, 1986. 153 ~ 156.
- [5] Fu L G. *China plant red data book*. Vol. 1. Beijing: Science Press, 1992. 52.
- [6] Di W Z, Yu Z Y. The first set of the Chinese rare or endangered plants in Shaanxi Province. Xi'an: Northwest University Press, 1987. 72 ~ 75.
- [7] Lei M D. *Shaanxi Vegetation*. Beijing: Science Press, 1999. 57 ~ 108, 448 ~ 490.
- [8] Editorial Board of China's Forest. *China's Forest*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1999. 631 ~ 779.
- [9] Lai J Sh, Li Q M, Xie Z Q. Seed germinating characteristics of the endangered plant *Abies chensiensis*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(5): 661 ~ 666.
- [10] Zhang W H, Xu X B, Zhou J Y, et al. Endangered Plant — *Abies chensiensis*, Study on its Distribution, Biological and Ecological Characters. *Biodiversity Science*, 2004, 12(3): 361 ~ 369.
- [11] Sun Y L, Li Q M, Xie Z Q. Fruiting Characteristics of The Endangered Species *Abies chensiensis*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(2): 251 ~ 257.
- [12] Sun Y L, Li Q M, Yang J Y, et al. Morphological variation in cones and seeds in *Abies chensiensis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 176 ~ 181.
- [13] Zhang W H, Xu X B, Zhou J Y, et al. Population dynamics of endangered plant species *Abies chensiensis*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16 (10): 1779 ~ 1804.
- [14] Zhang W H, Wang Y P, Kang Y X, et al. Age structure and time sequence predication of populations of an endangered plant, *Larix potaninii* var. *chinensis*. *Biodiversity Science*, 2004, 12(3): 361 ~ 369.
- [15] Zhang W H. The population ecology on *Adenophora lobophylla*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1998. 7 ~ 22.
- [16] Li Q M, Xie Z Q, Zhu R G. The Cone and Seed Output Characteristics of Endemic and Endangered Species *Cathaya argyrophylla*. *Seed*, 1997, 2: 1 ~ 3.
- [17] Xiong Z B, Ran J C, Tan C J, et al. The seed ecological characteristics of endangered *Handeliodendron bodinieri*. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 820 ~ 825.
- [18] Sun S X. *Silviculture*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1980. 28 ~ 29.
- [19] Dai X V. *Seed science*. Beijing: China Agriculture Press, 1994. 162 ~ 209.
- [20] He S A, Hao R M. Study on the natural population dynamics and the endangering habitat of *Liriodendron chinense* in China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(1): 87 ~ 95.

参考文献:

- [9] 张文辉, 祖元刚, 刘国彬. 十种濒危植物的种群生态学特征及致危因素分析. *生态学报*, 2002, 22 (9): 1512 ~ 1520.
- [3] 刘诗峰, 张坚. 佛坪自然保护区生物多样性研究与保护. 西安: 陕西科学技术出版社, 2003. 264 ~ 265.
- [4] 陕西森林编辑委员会. *陕西森林*. 西安: 陕西科学技术出版社, 中国林业出版社, 1986. 153 ~ 156.
- [5] 傅立国. *中国植物红皮书*. 第一卷. 北京: 科学出版社, 1992. 52.
- [6] 狄维忠, 于兆英. 陕西省第一批国家珍稀濒危保护植物. 西安: 西北大学出版社, 1987. 72 ~ 75.
- [7] 雷明德. *陕西植被*. 北京: 科学出版社, 1999. 57 ~ 108, 448 ~ 490.
- [8] 中国森林编辑委员会. *中国森林*. 北京: 中国林业出版社, 1999. 631 ~ 779.
- [9] 赖江山, 李庆梅, 谢宗强. 濒危植物秦岭冷杉种子萌发特性的研究. *植物生态学报*, 2003, 27(5): 661 ~ 666.
- [10] 张文辉, 许晓波, 周建云, 等. 濒危植物秦岭冷杉地理分布和生物生态学特性研究. *生物多样性*, 2004, 12(3): 361 ~ 369.
- [11] 孙玉玲, 李庆梅, 谢宗强. 濒危植物秦岭冷杉结实特性的研究. *植物生态学报*, 2005, 29(2): 251 ~ 257.
- [12] 孙玉玲, 李庆梅, 杨敬元, 等. 秦岭冷杉球果与种子的形态变异. *生态学报*, 2005, 25(1): 176 ~ 181.
- [13] 张文辉, 许晓波, 周建云, 等. 濒危植物秦岭冷杉种群数量动态. *应用生态学报*, 2005, 16(10): 1779 ~ 1804.
- [14] 张文辉, 王延平, 康永祥, 等. 濒危植物太白红杉种群年龄结构及其时间序列预测分析. *生物多样性*, 2004, 12(3): 361 ~ 369.
- [15] 张文辉. *裂叶沙参种群生态学*. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1998. 7 ~ 22.
- [16] 李庆梅, 谢宗强, 朱日光. 我国特有濒危植物银杉的球果特征与出种量. *种子*, 1997, 2: 1 ~ 3.
- [17] 熊志斌, 冉景丞, 谭成江, 等. 濒危植物掌叶木种子生态特征. *生态学报*, 2003, 23(4): 820 ~ 825.
- [18] 孙时轩. *造林学*. 北京: 中国林业出版社, 1980. 28 ~ 29.
- [19] 戴心维. *种子学*. 北京: 中国农业出版社, 1994. 162 ~ 209.
- [20] 贺善安, 郝日明. 中国鹅掌楸自然种群动态及其致危生境的研究. *植物生态学报*, 1999, 23(1): 87 ~ 95.