

云杉天然群体种实性状变异研究^{*}

罗建勋^{1,2}, 顾万春²

(1 四川省林科院 林业研究所, 四川 成都 610081; 2 中国林科院 林业研究所, 北京 100091)

[摘 要] 以云杉全分布区内7个有代表性的天然群体, 每个群体30个家系(单株)为试验材料, 对7个种实表型性状采用方差分析、多重比较、相关分析和聚类分析等统计分析方法, 讨论了群体间和群体内的表型多样性。结果表明, 云杉种内表型性状在群体间和群体内存在极其丰富的遗传变异, 云杉球果长度、球果宽度、球果长宽比、球果干重、种子长度、种子宽度和种子长宽比7个性状的表型分化系数(V_{ST})分别为48.63%, 41.19%, 24.59%, 49.72%, 61.63%, 62.04%和5.00%, 球果和种子的性状指数比单个性状稳定; 种实性状表型分化系数的变幅为5.00%~62.04%, 群体间表型分化系数均值为41.83%; 群体间变异(41.83%)稍小于群体内变异(58.17%)。7个种实表型性状间多数呈极显著或显著相关, 球果长度、球果宽度和种子长度为易测定和重要的种实表型性状; 云杉种内群体的球果表型变异在空间分布上呈现出以纬度为主的单向变异模式, 球果性状与温度呈极显著正相关, 与纬度、年降水量和生态梯度值(EGA)呈极显著或显著负相关; 利用群体间欧氏距离进行UPGMA聚类分析, 可将云杉群体划分为4类。

[关键词] 云杉; 天然群体; 种实性状; 表型变异

[中图分类号] S791.18

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)08-0060-07

中国是世界云杉种类最多的国家, 有16个种及变种, 四川有13个种及变种, 且自然分布广泛。云杉(*Picea asperata*)是四川西北部、甘肃东南部和陕西西南部亚高山地区森林演替的顶级群落及重要的生态林和工业用材林树种, 也是国内生长最快的云杉树种^[1]。

由于历史原因, 云杉天然林已被大量采伐, 有的遗传资源已经丢失。要对现有云杉天然群体进行科学保护和合理利用, 必须弄清种内群体的遗传多样性, 而利用表型性状研究群体的遗传多样性具有简便、快速和节省费用等优点, 至今仍然是重要而且有效的方法^[2~4]。

表型多样性是遗传多样性研究的重要内容, 有关云杉属植物表型多样性的研究很少, 且这些研究都限于局部分布区的有限群体, 群体内家系数量也有限^[5~8]。

本研究报道了云杉结实小年表型多样性研究结果, 旨在了解不同地理区域云杉在不同结实年份的表型变异程度, 揭示其表型变异规律。

1 材料与方法

1.1 群体选择与试验材料采集

在云杉自然分布区内选择有代表性的7个群体(包括云杉自然分布区北端, 位于甘肃南部卓尼群体和位于陕西西南部的凤县群体; 西端位于四川西北部壤塘群体; 南端丹巴群体和中南部小金群体及中北部巴西群体), 基本覆盖该树种的整个自然分布区, 且能反映分布区的特点, 各群体的地理位置和生态因子见表1。中选群体和单株条件见文献[7], 每群体选取30个单株(家系)进行调查和采样, 株间距离50m以上。采集树冠中上部成熟球果40~60个。

1.2 性状测定方法

借鉴Lipeng等^[8]的云杉属植物表型测定方法测量所有表型性状。用直尺测定球果长度、种子长度和宽度(最宽端), 用游标卡尺测定球果宽度(中央直径)。每群体测定30个单株(家系), 每单株随机测定30个球果(测量精度为0.01cm)。球果干燥脱粒后测定上述球果干重(测量精度为0.01g), 群体分单株净种后, 每单株随机取30粒种子, 测定每粒种子

^{*} [收稿日期] 2004-02-20

[基金项目] 国家“十五”科技攻关项目(2001BA511B10, 2002BA515B0403); 国家重大基础性工作项目的部分内容(科技部2001年13号)

[作者简介] 罗建勋(1964-), 男, 四川崇州人, 研究员, 博士, 主要从事森林遗传与树木改良研究。

[通讯作者] 顾万春(1941-), 男, 江苏阜宁人, 研究员, 主要从事森林植物遗传育种研究。

的长度和宽度(测量精度为 0.01 cm)。

型分化系数(V_{ST})的定义和分析见参考文献[10]。生态梯度值(EGA)的求算见文献[9, 11]。

1.3 统计分析

对各性状采用巢式设计方差分析^[9], 群体间表

表 1 云杉采集群体的地理位置及生态因子

Table 1 Locations and related ecological factors of the sampled populations in *Picea asperata*

群体 Popula- tion	纬度 Lat- tude	经度 Longi- tude	海拔/m A ltitude	均温/℃ A verage temperature			年降水量/ mm A nnual precipi- tation	坡度/(°) Slope	坡向 A spect	土壤 Soil	生态梯度值 Eco logical gradient value
				全年 A nnual	1 月 January	7 月 July					
壤塘 Rangtang	32°18′	101°20′	3 645	1.90	- 8.30	11.50	700.00	25	NW	山地暗棕壤 Mountain land dark brown soil	1.798 060
卓尼 Zhuoni	34°20′	103°32′	2 800	4.30	- 2.90	13.70	564.00	15	NW	山地暗棕壤 Mountain land dark brown soil	1.410 545
巴西 Baxi	33°36′	103°13′	2 980	0.70	- 10.50	10.70	647.60	10	SW	山地暗棕壤 Mountain land dark brown soil	1.433 472
凤县 Fengxian	34°22′	106°31′	2 220	11.40	- 0.90	17.50	750.00	10	NW	山地暗棕壤 Mountain land dark brown soil	1.397 765
小金 Xiaojin	30°55′	102°31′	3 185	12.00	2.20	19.90	613.90	28	N	山地暗棕壤 Mountain land dark brown soil	1.211 060
川盘 Chuanpan	32°53′	103°37′	3 100	5.70	- 4.30	14.50	729.70	25	SW	山地暗棕壤 Mountain land dark brown soil	1.447 408
丹巴 Danba	31°04′	101°27′	3 150	14.50	4.40	22.40	593.9	20	NW	山地暗棕壤 Mountain land dark brown soil	1.189 019

2 结果与分析

2.1 云杉群体间的形态变异特征

从表 2 可以看出, 球果、种子的 7 个性状在群体间和群体内均存在极显著差异。7 个表型性状均值及多重比较见表 3。从表 3 可以看出, 云杉球果的形态特征在群体间存在显著差异, 球果长度变异特征最大为南部丹巴群体, 其次为中南部的小金群体, 最小为北部卓尼群体; 球果宽度变异特征最大为中南部的小金群体, 最小仍为北部卓尼群体; 球果长宽比变异特征最大为南部丹巴群体, 其次为中南部的小金群体, 最小仍为北部卓尼群体; 球果干重变异特征最大为中南部的小金群体, 其次为南部丹巴群体, 最

小仍为北部卓尼群体。综上所述, 云杉天然群体球果性状的变异特征呈现明显的纬度垂直变异趋势, 从南到北, 随着纬度增加, 球果性状由大逐渐变小, 球果的干重由重逐渐变轻。种子长度变异特征最大为西北部的凤县群体, 其次是中北部的巴西群体和中南部的小金群体, 最小为南部丹巴群体; 种子宽度变异特征最大为西北部的凤县群体, 其次为中北部的巴西群体, 最小为南部丹巴群体; 种子长宽比变异特征最大为分布中心的川盘群体, 其次是北部卓尼群体, 最小仍为南部丹巴群体。云杉种子的形态特征在群体间存在显著差异, 但规律性不是很明显, 只是种子长度变异特征呈现较明显的纬度垂直变异趋势, 从南到北, 随着纬度增加, 种子逐渐变长。

表 2 云杉天然群体间和群体内表型性状的方差分析

Table 2 Variance analysis of morphological traits among/w ithin populations in *P. asperata*

性状 Traits	均方(自由度) MS (df)			F 值 F value	
	群体间 Among populations	群体内 W ithin population	机误 Random errors	群体间 Among populations	群体内 W ithin population
球果长(CL) Cone length	917.872 4(6)	31.984 4(203)	0.787 2	1 166.04**	40.63**
球果宽(CW) Cone diameter	15.475 7(6)	0.723 3(203)	0.021 4	722.76**	33.78**
球果干重(CDW) Cone dry weight	15 509.687 1(6)	516.269 0(203)	10.845 5	1 430.05**	47.60**
种子长(SL) Seed length	0.249 6(6)	0.005 5(203)	0.000 4	594.40**	13.07**
种子宽(SW) Seed width	0.134 3(6)	0.010 8(203)	0.000 8	161.15**	12.98**
球果长宽比(CLW) Cone length/cone width	48.672 1(6)	4.657 1(203)	0.157 1	309.75**	29.64**
种子长宽比(SLW) Seed length/seed width	0.694 2(6)	0.299 4(203)	0.047 8	14.53**	6.27**

表 3 云杉 7 个天然群体间表型性状的平均值和标准差

Table 3 The mean value and standard deviation of morphological traits of 7 populations in *Picea asperata*

群体 Population	样本数 Number of sample	平均值Mean (SD)						
		球果长 CL	球果宽 CW	球果长宽比 CLW	球果干重 CDW	种子长 SL	种子宽 SW	种子长宽比 SLW
壤塘 Rangtang	900	9 824(1 883) ^c	2 157(0 277) ^e	4 561(0 702) ^b	15 932(6 660) ^c	0 389(0 025) ^c	0 198(0 017) ^c	1 979(0 208) ^b
卓尼 Zhuoni	900	8 068(0 977) ^a	1 959(1 677) ^a	4 123(0 411) ^a	10 559(3 263) ^a	0 392(0 192) ^d	0 199(0 031) ^{cd}	2 000(0 252) ^{bc}
巴西 Baxi	900	10 007(1 187) ^d	2 129(1 659) ^d	4 719(0 586) ^e	17 605(4 792) ^d	0 394(0 024) ^e	0 201(0 027) ^d	1 985(0 207) ^{bc}
凤县 Fengxian	900	9 793(1 085) ^c	2 106(1 715) ^c	4 666(0 521) ^{cd}	16 010(4 005) ^c	0 400(0 022) ^f	0 206(0 040) ^e	1 992(0 271) ^{bc}
小金 Xiaojin	900	10 921(1 605) ^e	2 331(0 236) ^g	4 696(0 607) ^e	23 609(7 037) ^f	0 394(0 023) ^e	0 198(0 011) ^c	1 995(0 159) ^{bc}
川盘 Chuanpan	900	9 395(1 196) ^b	2 038(0 224) ^b	4 624(0 518) ^c	14 702(4 262) ^b	0 386(0 258) ^b	0 194(0 017) ^b	2 007(0 244) ^c
丹巴 Danba	900	11 101(1 210) ^f	2 289(0 201) ^f	4 860(0 449) ^f	20 237(5 324) ^e	0 350(0 030) ^a	0 184(0 021) ^a	1 924(0 288) ^a
总计 Total	6 300	9 873(1 633)	2 144(0 242)	4 607(0 590)	16 951(6 473)	0 386(0 029)	0 197(0 026)	1 983(0 237)

注:表中a, b, c, d 为Duncan grouping 表示值, 其中字母相同者为相互间差异不显著。

Note: a, b, c, d is Duncan grouping values, the difference among populations with same letter is not significant

2.2 云杉群体内的形态变异特征

用变异系数表示性状值离散性特征, 变异系数越大, 则性状值离散程度越大。云杉 7 个群体表型性状的变异系数见表 4。从表 4 可以看出, 云杉球果和种子 7 个生物学性状的平均变异系数(CV)为 15.64%。在 7 个表型性状中球果干重的变异系数最

大(CV = 38.19%), 说明球果干重较其他性状变异大; 种子长的变异系数最小(CV = 7.41%), 表明该性状较其他性状稳定。从表 4 还可以看出, 不同群体内每一性状的变异系数均有一定差异, 说明不同群体的环境异质性导致了群体表型变异的差异。

表 4 云杉 7 个天然群体表型性状的变异系数

Table 4 Coefficient of variation of morphological traits of 7 populations in *Picea asperata*

性状 Trait	壤塘 Rangtang	卓尼 Zhuoni	巴西 Baxi	凤县 Fengxian	小金 Xiaojin	川盘 Chuanpan	丹巴 Danba	总计 Total	%
球果长 CL	19.13	12.11	11.86	11.08	14.69	12.73	10.90	14.71	
球果宽 CW	12.86	8.56	7.79	8.14	10.12	10.10	8.79	11.31	
球果长宽比 CLW	15.40	9.97	12.42	11.17	12.93	11.20	9.24	12.81	
球果干重 CDW	41.80	30.90	27.22	25.02	29.81	28.99	26.31	38.19	
种子长 SL	6.38	4.90	5.97	5.39	5.79	6.68	8.55	7.41	
种子宽 SW	8.48	15.53	13.43	19.42	5.45	8.51	11.20	13.05	
种子长宽比 SLW	10.51	12.59	10.45	13.59	7.95	12.15	14.96	11.97	
平均 Mean	16.37	13.51	12.73	13.40	12.39	12.91	12.85	15.64	

进一步对各群体变异系数的比较表明, 西部壤塘群体的种实表型性状变异系数较大, 平均变异系数为 16.37%, 说明该群体的表型多样性较丰富, 而巴西、小金、川盘和丹巴 4 个群体的变异系数相近, 平均变异系数为 12.63%, 巴西和川盘群体为云杉自然分布区的中心群体, 小金和丹巴为云杉中南部

和南部群体, 这初步表明云杉中心和南部群体表型多样性相似。卓尼和凤县两群体为云杉的北部群体, 表型变异属中间型, 小于西部群体而大于中南部和南部群体, 这亦可能预示云杉北部和西部边缘群体有较高的遗传变异。

2 3 云杉天然群体间的表型分化

按巢式设计方差分量比组成, 进一步分析各方差分量占总变异的比例。用群体间方差分量占遗传总变异(群体间和群体内方差分量之和)的百分比表示群体间的表型分化系数 V_{ST} , 云杉种实表型性状的表型分化系数见表 5。从表 5 可以看出, 球果长宽比和种子长宽比的表型分化系数在球果性状和种子性状中最低, 说明球果和种子性状变异指数比相应

的单个性状变异低。球果和种子两性状的 V_{ST} 均值分别为 41. 03% (变幅为 24. 59%~ 49. 72%) 和 42. 89% (变幅为 5. 00%~ 62. 04%), 种实性状的平均表型分化系数 V_{ST} 为 41. 83% (变幅为 5. 00%~ 62. 04%), 云杉天然群体间种实性状的遗传变异占总变异的 41. 83%, 说明云杉天然群体内变异 (58. 17%) 略高于群体间变异。

表 5 云杉表型性状的方差分量及群体间表型分化系数

Table 5 Variance portions and differentiation coefficients of morphological traits among/w ithin populations in *Picea asperata*

性状 Trait	方差分量 Variance portion			方差分量百分比/% Percentage of variance portion			表型分化系数/% Differentiation coefficient of morphological trait
	群体间 Among populations	群体内 W ithin population	机误 Random errors	群体间 Among populations	群体内 W ithin population	机误 Random errors	
球果长(CL)	0.984 320	1.039 910	0.787 170	35.01	36.99	28.00	48.63
球果宽(CW)	0.016 390	0.023 400	0.021 410	26.78	38.24	34.98	41.19
球果干重(CDW)	16.659 350	16.847 450	10.845 540	37.56	37.99	24.45	49.72
种子长(SL)	0.000 271	0.000 169	0.000 420	31.54	19.64	48.82	61.63
种子宽(SW)	0.000 036	0.000 221	0.000 412	53.91	32.98	13.11	62.04
球果长宽比(CLW)	0.048 910	0.150 000	0.157 130	13.74	42.13	44.13	24.59
种子长宽比(SLW)	0.000 439	0.008 387	0.047 780	0.78	14.82	84.40	5.00
平均 Mean	2.530 006	2.581 362	1.694 266	28.47	31.85	39.70	41.83

2 4 云杉群体表型聚类分析

利用欧式平均距离, 采用UPGMA 方法对云杉 7 个群体的球果和种子表型数据进行聚类分析, 结果见图 1。以分层聚类平均距离 0.75 为阈值, 7 个群体明显分为 4 组, 北部凤县群体、西部壤塘群体和中

心群体巴西、川盘群体为一组, 南部的小金群体、北部卓尼群体和南端丹巴群体均单独聚为一组, 初步表明云杉边缘群体和中心群体的表型性状有明显差异。

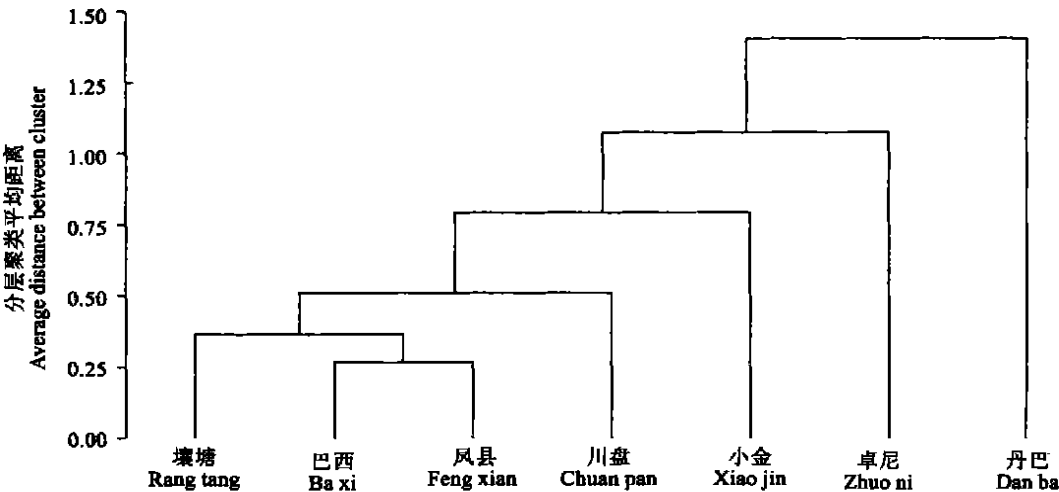


图 1 云杉表型性状聚类图

Fig 1 UPGMA cluster based on cone and seed morphological traits of seven populations in *Picea asperata*

2 5 云杉表型性状间的相关关系

对球果和种子 7 个性状平均值进行了相关分析

与检验。结果表明, 云杉球果长度与球果宽度、球果长宽比和球果干重呈极显著正相关, 相关系数分别

为 0.963^{**}, 0.812^{**} 和 0.905^{**}, 球果干重与球果长度、球果宽和球果长宽比呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.905^{**}, 0.949^{**} 和 0.577^{**}, 球果长宽比与种子长宽比呈极显著正相关 ($R = 0.782^{**}$), 种子长与种子宽、种子长宽比呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.982^{**} 和 0.924^{**}, 种子宽和种子长宽比呈极显著负相关 ($R = -0.838^{**}$)。综上所述, 为提高云杉表型性状测定效率, 在测定种实性状时, 球果长、球果宽和种子长应视为重要和关键的种实表型性状。

2.6 云杉表型性状和采集点地理生态因子的相关关系

将云杉球果和种子的 7 个性状与采样地的地理生态因子进行相关分析与检验, 结果见表 6。由表 6 可以看出, 云杉球果长、球果宽和球果干重与纬度呈极显著负相关, 相关系数分别为 -0.987^{**}, -0.990^{**} 和 -0.954^{**}; 球果长、球果宽、球果长宽比和球果干重与年均温呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.882^{**}, 0.752^{**}, 0.933^{**} 和 0.791^{**}; 球果长、球果宽、球果长宽比和球果干重与 1 月均温呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.878^{**},

0.752^{**}, 0.924^{**} 和 0.799^{**}; 球果长、球果宽、球果长宽比和球果干重与 7 月均温呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.888^{**}, 0.757^{**}, 0.943^{**} 和 0.785^{**}。球果长、球果宽、球果长宽比和球果干重与年降水量呈极显著负相关, 相关系数分别为 -0.999^{**}, -0.951^{**}, -0.838^{**} 和 -0.891^{**}; 球果长、球果长宽比和球果干重与生态梯度值呈极显著负相关, 相关系数分别为 -0.736^{**}, -0.835^{**} 和 -0.732^{**}; 球果长宽比与纬度呈显著负相关 ($R = -0.719^{*}$)。种子长宽比与经度呈显著正相关 ($R = 0.734^{*}$); 种子宽与年均温呈显著正相关 ($R = 0.609^{*}$); 种子长和种子宽与 7 月均温呈显著负相关, 相关系数分别为 -0.608^{*} 和 -0.628^{*}; 种子长宽比与年降水量呈显著正相关 ($R = 0.663^{*}$); 球果宽与生态梯度值呈显著负相关 ($R = -0.606^{*}$)。由此可见, 云杉种内群体的球果表型变异在空间分布上呈现以纬度为主的单向变异模式, 也就是说, 在云杉天然分布区内, 从南向北, 随着纬度的增加, 球果性状由大变小; 球果性状与温度呈极显著正相关, 与纬度、年降水量和生态梯度值 (EGA) 呈极显著或显著负相关。

表 6 云杉表型性状与地理生态因子及 EGA 之间的相关关系

Table 6 Correlation coefficients between the geological and ecological factors or the EGA values and morphological traits based on 7 natural populations in *P. asperata*

性状 Trait	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude	年均温 Annual average temperature	1 月均温 January average temperature	7 月均温 July average temperature	年降水量 Annual precipitation	生态梯度值 Ecological gradient value
球果长 CL	- 0.987 ^{**}	- 0.479	- 0.276	0.882 ^{**}	0.878 ^{**}	0.888 ^{**}	- 0.999 ^{**}	- 0.736 ^{**}
球果宽 CW	- 0.990 ^{**}	- 0.512	- 0.103	0.752 ^{**}	0.752 ^{**}	0.757 ^{**}	- 0.951 ^{**}	- 0.606 [*]
球果长宽比 CLW	- 0.719 [*]	- 0.256	- 0.597	0.933 ^{**}	0.924 ^{**}	0.943 ^{**}	- 0.838 ^{**}	- 0.835 ^{**}
球果干重 CDW	- 0.954 ^{**}	- 0.218	- 0.310	0.791 ^{**}	0.799 ^{**}	0.785 ^{**}	- 0.891 ^{**}	- 0.732 ^{**}
种子长 SL	0.346	0.434	0.302	- 0.583	- 0.563	- 0.608 [*]	0.523	0.429
种子宽 SW	0.279	0.256	0.455	0.609 [*]	- 0.591	- 0.628 [*]	0.464	0.503
种子长宽比 SLW	0.528	0.734 [*]	0.015	- 0.549	- 0.528	- 0.579	0.663 [*]	0.316

注: ** 表示 $\alpha = 0.01$ 时相关显著, * 表示 $\alpha = 0.05$ 时相关显著。

Note: ** Significant correlation at 0.01 level, * Significant correlation at 0.05 level

3 结论与讨论

3.1 云杉的表型变异极其丰富

目前国内研究报道中, 云南松群体间的表型遗传变异较大 ($V_{ST} = 36\%$), 这主要是云南松为了适应

云贵高原复杂多变的生态地理环境所致^[12]。与其他云杉树种相比, 云杉群体间的表型分化系数为较高水平, 高于西加云杉 (*Picea sitchensis*) ($V_{ST} = 10.1\%$) 和红皮云杉 (*Picea koraiensis*) ($V_{ST} = 14.51\%$), 低于黑云杉 (*Picea mariana*) ($V_{ST} =$

49.41%~57.04%) 和白云杉(*Picea glauca*) ($V_{ST}=50\%$)^[13]。与其他针叶树种相比, 云杉表型分化系数高于长白落叶松(*Larix olgensis*)、白皮松(*Pinus bungeana*)、花旗松(*Pseudotsuga menziesii*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、北美短叶松(*Pinus banksiana*)和火炬松(*Pinus*), 以上6种针叶树的 V_{ST} 分别为26.2%, 22.86%, 11.1%, 6.44%, 1.6%~18.9%和15%^[10]。云杉种内种实性状存在着丰富的群体间、群体内变异, 这说明云杉的遗传改良潜力巨大。

3.2 云杉的表型变异呈梯度规律性

Stebbins^[14]认为, 与生长性状相比, 黑云杉天然群体的花结构性状(球果和种子)主要受遗传控制。本研究结果表明, 云杉球果性状(球果长、球果宽、球果长宽比、球果干重)以纬度梯度变异为主, 随着纬度的增加, 从南到北球果性状逐渐减小, 干重逐渐减小。云杉球果性状与温度因子(年均温、1月和7月

均温)呈极显著正相关, 与降水量呈极显著负相关, 与生态梯度值呈极显著或显著负相关, 这些与黑云杉的研究结果相异^[15], 而与欧洲云杉的研究结果相似^[16], 也与云杉早期研究结果相同, 如周德彰等^[17]根据云杉生态环境与用种经验进行种子区划初步研究, 结论仍是温度和湿度是影响云杉生长的主要生态因素。这也进一步说明利用云杉天然群体表型性状进行群体的初步区划是可行的^[18~20]。

3.3 云杉的遗传改良前景

根据云杉丰富的自然变异, 可以初步推断云杉的改良前景是广阔的。云杉41.83%的变异来自群体间, 58.17%的变异存在于群体内, 群体内的分化稍高于群体间。因此, 在遗传改良工作中进行优良种源、优良群体选择和利用的同时, 应加大优良个体选择和利用的力度。

[参考文献]

- [1] 罗建勋, 左林. 云杉人工林材性变异的初步研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(3): 29-34
- [2] 葛颂. 植物群体遗传结构研究的回顾与展望[A]. 李承森. 植物科学进展[C]. 北京: 高等教育出版社, 1998: 1-15
- [3] 邹喻苹, 葛颂, 王小东. 系统与进化植物学中的分子标记[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-266
- [4] Legercrantz U, Rymann N. Genetic structure of Norway spruce (*Picea abies*): concordance of morphological and allozymic variation[J]. Evolution, 1990, 44(1): 38-53
- [5] Yeh F C, El-kassaby Y A. Enzyme variation in natural populations of Sitka spruce[J]. Can J For Res, 1980, 10: 415-422
- [6] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 120-143
- [7] 罗建勋, 李晓清, 孙鹏, 等. 云杉天然群体表型变异研究[J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(1): 9-11
- [8] Lipeng, Beaulieu J, Bousquet J. Genetic structure and patterns of genetic variation among populations in eastern white spruce (*Picea glauca*) [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1997, 27(2): 189-198
- [9] 李斌, 顾万春, 卢宝明. 白皮松天然群体种实性状表型多样性研究[J]. 生物多样性, 2002, 10(2): 181-188
- [10] 葛颂, 王明麻, 陈岳武. 用同工酶研究马尾松群体的遗传结构[J]. 林业科学, 1988, 24(4): 399-409
- [11] 顾万春, 李斌, 游应天. 生态梯度值(EGA)区划林木育种区的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(2): 5-8
- [12] 虞泓. 云南松遗传多样性与分化研究[D]. 昆明: 云南大学, 1996
- [13] 张含国. 红皮云杉遗传多样性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2000
- [14] Stebbins G L. Variation and Evolution in Plants[M]. New York: Columbia Univ Press, 1950
- [15] Khalil M A K. Genetic of cone morphology of black spruce (*Picea mariana* (Mill)) in Newfoundland, Canada[J]. Silvae Genetica, 1984, 33: 101-109
- [16] Borghetti M, Giannini M. Geographic variation in cones of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) [J]. Silvae Genetica, 1988, 37(5): 178-184
- [17] 周德彰, 梁罕超, 韩英. 粗枝云杉种子区划的初步研究[A]. 四川森林生态研究[C]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990: 547-558
- [18] Atasay H. Studies of the genetic diversity within and between the populations of oriental spruce (*Picea orientalis*) from the characteristics of seeds and seedlings[J]. Teknik Bulten-Serisi Omancilik-Arastirma-Emistusu-Yayinlari, 1996, 261: 86
- [19] Barzdajn W. Intra population diversity in spruce (*Picea abies* (L.) karst.) in the mountains[J]. Sylwan, 1996, 140: 3, 39-46
- [20] Barzdajn W. An assessment of diagnostic value of morphological traits of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) cones for discrimination of spruce provenances[J]. Sylwan, 1996, 140: 9, 61-75

Cone and seed variation of natural population in *Picea asperata*

LUO Jian-xun^{1,2}, GU Wan-chun²

(1 Research Institute of Forestry, Sichuan Academy of Forestry, Chengdu, Sichuan 610081, China;

2 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: This study was conducted to determine phenotypic variation of natural populations and find out the relation between phenotypic variation of natural populations and different distribution areas in *Picea asperata*. Based on field investigations and analysis of the natural distribution of *Picea asperata* in P. R. China, four cone characters, three seed traits in 30 trees from each of 7 populations in *P. asperata* were selected and investigated. Morphological diversities among/within populations were discussed on the basis of 7 phenotypic traits analysis. The methods of variance analysis, multi-comparison, correlation analysis and hierarchical cluster analysis were used for analysis of experimental results. The results of research showed that there was significant difference in morphological characters among populations and among individuals within populations. The CV of seven phenotypic traits was 48.63%, 41.19%, 24.59%, 49.72%, 61.63%, 62.04% and 5.00%, respectively. The trait stability of seed length/seed width was higher than that of other morphological traits. The V_{ST} of cone and seed ranged from 5.00% to 62.04%. The mean phenotypic differentiation coefficient (V_{ST}) of populations was 41.83%. It also showed that the variation among populations (41.83%) was little smaller than that within populations (58.17%). The cone length, cone diameter and seed length were the most important phenotypic traits which were easy to measure in *Picea asperata*. The trait variation of natural populations within species affected mainly by latitude in spatial distribution. There was a greatly positive correlation between cone traits and temperature factors. There was a greatly negative correlation between cone traits and annual precipitation and EGA. The 7 populations of *Picea asperata* investigated could be divided into four groups according to the UPGMA cluster analysis.

Key words: *Picea asperata*; natural population; cone and seed traits; morphological variation