

马尾松种源针叶内痕量元素 数量变异与生长相关性*

季 孔 庶

(南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037)

摘 要 采用电感耦合等离子直读光谱仪 (ICPQ)测定休眠期马尾松 10 个种源针叶内 10种痕量矿质元素的水平,并测量树高和胸径的平均生长量。ICPQ 检测到其中 7种痕量元素,而其余的 3种均低于其测定范围。痕量矿质营养存在种源水平上的变异,各元素在种源间的离散程度随含量降低而趋小,且不少元素与原产地经、纬度呈负相关。对马尾松树高和胸径生长量与痕量矿质营养水平进行逐步回归分析,初步认为锂元素可作为马尾松生长量的早期预测因子。

关键词 马尾松; 叶痕量元素; 种源试验; 生长量
中图分类号 S718. 43

植物矿质营养性状遗传改良作为植物营养学与植物育种学的一个交叉学科,近年来深受重视,1982~ 1992的 10 a间已连续 4次召开了“植物矿质营养遗传特性国际学术研讨会”^[1]。树木矿质营养性状遗传改良作为其中一个分支,研究进展相对滞后,其中一个较重要原因是树体内的矿质营养水平不仅在空间而且在时间上均有差异。为寻求解决问题的关键,Miksche^[2]总结前人的经验提出,利用常绿树种休眠期叶内的矿质营养水平相对稳定性来衡量树体的营养水平是比较可靠的。据此该领域的研究有了进一步发展^[3~ 6]。

马尾松 (*Pinus massoniana*) 作为我国南方特有的重要工业用材树种,尤其是作为今后制浆材的重要原料,其遗传改良研究从“六五”计划到“九五”计划连续 4个五年计划均被列入国家科技攻关项目。然而有关矿质营养的研究,至今仅由张云跃^[3]对球果内 9种元素含量的季节动态以及季孔庶等^[4]对针叶内的 15种大量、中量、微量和有益元素作过研究外,有关痕量营养元素的研究至今未见报道。本文运用先进的矿质元素测定仪——电感耦合等离子直读光谱仪 (Inductively Coupled Plasma Quantometer, 简称 ICPQ),对马尾松不同种源休眠期针

收稿日期: 1996-11-15; 修回日期: 1997-02-27

* 八五国家科技攻关资助项目

作者简介: 季孔庶,男,1965年生,博士

叶内 10 种痕量元素进行测定, 以进一步了解马尾松的种源变异。同时结合生长量的测定, 研究矿质营养水平与生长的相关性, 以便为早期选择提供预测因子, 同时为营养诊断提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 种源林及原产地环境概况

种源林位于南京市江宁县东善桥林场内 ($31^{\circ}51'N$, $118^{\circ}45'E$), 年平均气温 $15.2^{\circ}C$, 年降水量 1115.0 mm , 土壤为黄砂土, pH 值 5.5 1983 年容器育苗, 1984 年造林建成。

据种源区划分^[7], 选北带的陕西城固和安徽霍山, 中带的贵州德江、江西吉安和浙江庆元, 南带的广西忻城、恭城和宁明及广东高州和信宜 10 个种源。各种源马尾松原产地环境概况见表 5。

1.2 采样及生长量测定

1995 年休眠期, 从各种源中选生长较一致的马尾松各 5 株, 每株作为 1 个重复, 采其向阳部位相似高度当年生小枝 5 个备用。

实测各种源马尾松单株树高和胸径当年生长量, 得各种源年平均生长量。

1.3 样品制备、前处理和含量测定

剔除破损和有病虫害针叶的小枝, 依次用 $30\text{ g}^{\circ}\text{L}^{-1}$ 洗洁剂、自来水和去离子水冲洗洁净, 晾干存放待用。

将晾干的针叶剪碎放入坩锅, 于马沸炉内程序升温至 $500^{\circ}C$, 灰化 3 h , 得白色灰分, 加 $10\text{ mL } 50\text{ g}^{\circ}\text{L}^{-1}$ 超工艺纯硝酸, 待完全溶解后置洁净塑料试剂瓶中待测。待测液送南京大学理化分析中心, 用 ICPQ 测定 10 种痕量矿质营养元素含量。

1.4 数据处理与统计分析

分析不同种源痕量矿质营养的变异状况及其与原产地经、纬度间的相关关系。最后以 10 种痕量矿质元素含量为自变量, 树高和胸径年平均生长量为因变量, 作回归分析。数据处理和统计均采用叶志宏的“林木遗传改良实用统计应用软件包”(SPQG 软件)。

2 结果分析与讨论

2.1 马尾松不同种源痕量矿质营养变异性分析

从 10 种痕量元素总平均含量的测定结果 (表 1) 发现, 锂的含量最高, 达 $17.850\mu\text{g}^{\circ}\text{g}^{-1}$, 而钒、铍和砷的含量均低于 ICPQ 的检测范围。

从不同种源痕量元素含量的极差及其分化系数分析 (表 1) 可见, 痕量元素含量的离散程度随其含量的降低而趋小, 这一结果恰与廉志刚等^[5]测定油松大量和中量元素结果相反。

对不同种源针叶内痕量元素的含量作方差分析 (表 2), 发现在 ICPQ 测定范围内的 7 种痕量元素中, 锂在种源间差异显著, 并且在种源内个体间差异极显著; 铈在种源间差异显著; 钪、钛、铅、铬和镉元素含量在种源间差异极显著。说明痕量营养元素含量在 10 个种源间差异是显著的。意味着马尾松对不同痕量矿质营养的吸收和利用水平存在显著性差异, 因此开展其矿质营养性状的遗传改良具有一定潜力。

表 1 马尾松针叶内痕量元素的分量及其相对变动程度

Table 1 Contents of trace elements in needles of *Pinus massoniana* and their variation extents

元 素	平均含量 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	极差 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	变动系数
Li	17.850	73.00	0.726 1
Sr	13.790	20.70	0.341 6
Ba	9.070	21.02	0.531 3
Ti	4.690	7.54	0.328 4
Pb	2.470	3.06	0.267 2
Cr	0.225	0.56	0.657 8
Cd	0.198	0.22	0.242 4
V	0	0	0
Be	0	0	0
As	0	0	0

表 2 马尾松不同种源痕量元素含量方差分析

Table 2 Variance analysis for contents of trace elements among provenances of *Pinus massoniana*

元素	Li	Sr	Ba	Ti	Pb	Cr	Cd
种源间 <i>F</i> 值	2.46*	2.25*	4.84*	2.96*	5.65*	5.30*	5.83*
种源内 <i>F</i> 值	6.04*	0.66	1.87	0.85	1.11	1.67	1.45

说明: ** 表示差异达极显著水平 ($P < 0.01$), * 表示差异达显著水平 ($P < 0.05$)

为进一步分析马尾松痕量矿质营养在种源水平上的变异规律, 对各元素含量平均值作最小差异显著性检验 (LSD 检验), 得各元素在 10 种源间的排序情况 (表 3)。可见, 锂以安徽霍山种源为最高, 以江西吉安种源为最低; 锶以广西宁明为最高, 安徽霍山为最低; 钡以广东信宜为最高, 广东高州为最低; 钛以陕西城固为最高, 江西吉安为最低; 铅以广西忻城为最高, 浙江庆元为最低; 铬以安徽霍山为最高, 广东信宜为最低; 镉以广西忻城为最高, 陕西城固为最低。同时, 将各种痕量矿质元素含量与产地经、纬度作相关分析 (表 4), 发现锂和钡元素含量与经、纬度相关不密切。除铬元素与纬度呈正相关, 其余元素与产地经、纬度呈负相关。这一结果与季孔庶等^[4]研究马尾松体内其他矿质元素的变异倾向一致。可见马尾松体内好几种痕量矿质元素的含量亦呈南北和西东走向, 即南部种源含量高于北部种源, 西部种源高于东部种源。

2.2 痕量矿质营养与生长相关性分析

研究树木矿质营养性状遗传改良, 不仅要搞清其遗传变异规律, 更主要的是能为树木的速生、稳产和高产提供矿质营养方面的理论依据。因此有必要分析树木矿质营养性状与生长性状之间的相关关系, 判断影响林木生长的主要痕量元素因子。鉴于此, 对痕量元素含量与树高、胸径生长量进行回归分析。

马尾松 10 种源树高和胸径平均年生长量见表 5, 可见南方种源生长量均大于北方种源, 种源的生长量的变异程度较大, 开展种源选择是可行的。

表 3 不同种源马尾松痕量营养元素含量平均值的 LSD 检验

Table 3 A LSD test for average contents of trace elements in <i>Pinus massoniana</i> from different provenances										
顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
种源	霍山	庆元	恭城	信宜	宁明	忻城	城固	德江	高州	吉安
Li平均值	21.746	19.674	18.400	17.400	16.100	15.060	12.610	10.742	6.444	5.538
差异										
顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
种源	宁明	吉安	忻城	信宜	城固	恭城	德江	高州	庆元	霍山
Sr平均值	17.340	17.180	16.640	14.810	13.720	13.300	12.780	12.760	11.300	8.050
差异										
顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
种源	信宜	恭城	城固	忻城	宁明	吉安	庆元	德江	霍山	高州
Ba平均值	13.168	12.560	12.442	12.442	11.218	6.922	6.616	5.562	5.338	4.482
差异										
顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
种源	城固	宁明	恭城	德江	信宜	霍山	忻城	高州	庆元	吉安
Ti平均值	6.488	6.354	4.970	4.710	4.604	4.454	4.194	4.044	3.636	3.464
差异										
顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
种源	忻城	宁明	城固	恭城	信宜	霍山	高州	吉安	德江	庆元
Pb平均值	3.286	3.240	3.012	2.522	2.434	2.154	2.098	2.030	1.886	1.612
差异										
顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
种源	霍山	宁明	城固	忻城	庆元	吉安	德江	高州	恭城	信宜
Cr平均值	0.361	0.329	0.325	0.288	0.220	0.205	0.174	0.171	0.103	0.000
差异										
顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
种源	忻城	宁明	德江	高州	信宜	恭城	霍山	吉安	庆元	城固
Cd平均值	0.254	0.241	0.238	0.222	0.189	0.186	0.175	0.165	0.164	0.150
差异										

说明: 表中差异栏横线所及种源表示差异不显著 ($P < 0.01$)

表 4 不同种源马尾松痕量元素含量与产地经、纬度相关分析

Table 4 An analysis of correlation of contents of trace elements with latitude and longitude of provenances							
经纬度变化范围	相 关 系 数						
	Li	Sr	Ba	Ti	Pb	Cr	Cd
21.90~ 33.32°N	—	- 0.531 4	—	—	—	0.542 6	- 0.638 4
107.13~ 118.98°E	—	- 0.501 8	—	- 0.673 1	- 0.732 8	—	—

以 10种痕量矿质元素的含量为自变量,以树高和胸径年平均生长量为因变量,作逐步回归,结果仅锂元素被引入胸径生长量回归方程,钡和锂两元素被引入树高生长量回归方程: $Y_D = 0.151 3 + 0.017 6 X_{Li}$, 其复相关系数 $R = 0.706 4$; $Y_h = 0.072 5 + 0.031 9 X_{Ba} + 6.683 5 \times 10^{-3} X_{Li}$, 其负相关系数 $R = 0.917 4$

表 5 不同种源马尾松原产地环境概况, 树高、胸径生长量及变异系数

Table 5 Environmental conditions, annual increase of height and DBH and their c. v. of *Pinus massoniana* from different provenances

种源	纬度	经度	年均温	年降水量	年生生长量	
	°N	°E	°C	/mm	树高 /m	胸径 /cm
陕西城固	33. 32	107. 50	14. 40	759. 60	0. 36	0. 45
安徽霍山	31. 70	116. 30	15. 00	1 254. 00	0. 37	0. 64
贵州德江	26. 25	108. 12	15. 90	1 287. 60	0. 41	0. 40
江西吉安	27. 08	114. 92	18. 00	1 455. 00	0. 38	0. 49
浙江庆元	27. 82	118. 98	16. 70	1 604. 50	0. 47	0. 52
广西忻城	24. 05	108. 63	20. 70	1 448. 50	0. 67	0. 81
广西恭城	24. 83	110. 82	19. 80	1 298. 00	0. 81	1. 12
广西南明	22. 13	107. 13	20. 50	1 304. 80	0. 64	0. 89
广东高州	21. 90	110. 35	22. 60	1 709. 20	0. 68	0. 78
广东信宜	22. 35	110. 93	22. 30	1 768. 10	0. 77	0. 70
年生生长量变异系数					0. 949 1	0. 996 9

作者由此初步认为, 马尾松休眠期针对内钡和锂的含量可作为树高生长的早测因子, 而锂的含量也可作为胸径生长的早测因子, 可见痕量元素锂对马尾松生长具有一定作用与影响, 其相关性的内在本质有待今后作进一步研究。如今后结合盆栽试验, 研究锂对生长发育的作用机理, 人为调控营养水平, 监测不同元素对生长的影响, 以验证其中之相关性, 则可为寻找影响生长的矿质营养基因型创造条件。

3 结论

3.1 运用 ICPQ 测定休眠期马尾松针叶内的 10 种痕量矿质元素, 发现锂、锶、钡、钛、铅、铬和镉等 7 种元素均在 ICPQ 的测定范围, 而钒、铍和砷元素均低于 ICPQ 测定范围。

3.2 由于马尾松分布地理位置上的差异及其长期的地理适应性, 形成了该树种对不同痕量矿质元素吸收和利用水平的差异。因此开展其种源水平上的矿质营养性状遗传改良是有一定前景的。

3.3 马尾松体内不少痕量营养元素的水平与其产地经、纬度呈负相关。跟其体内的大量、中量、微量和有益元素相似, 营养水平南部种源高于北部种源, 西部种源高于东部种源。

3.4 马尾松体内锂元素的水平被引入其胸径生长的回归方程: $Y_D = 0.1513 + 0.0176X_{Li}$, 其负相关系数 $R = 0.7064$ 。钡和锂元素的水平被引入树高生长回归方程: $Y_D = 0.0725 + 0.0319X_{Ba} + 6.6385 \times 10^{-3}X_{Li}$; 其复相关系数 $R = 0.9174$ 。初步认为锂元素的水平可作为马尾松生长量的预测因子之一。

致谢 本文属作者博士学位论文的一部分, 谨向导师王明庥院士、王章荣教授和陈天华教授致以衷心感谢, 并感谢本校基础课部的黄剑聆教授、江苏省林科所的汪企明研究员以及在痕量矿质营养测定中做了大量工作的邹永梅硕士。

参 考 文 献

- 1 张福锁, 张亚科. 植物矿质营养遗传性状的改良与利用. 世界农业, 1994, **3**: 32~ 34
- 2 Miksche JP 著; 张培果, 吴贯明译. 森林遗传学实验新技术. 北京: 中国林业出版社, 1981. 166~ 190
- 3 张云跃, 李佩瑜, 简梦完. 马尾松球果发育和元素含量的季节动态. 林业科学, 1995, **31** (1): 72~ 76
- 4 季孔庶, 邹永梅, 陈天华, 等. 不同种源马尾松灰分矿质营养变异的研究. 南京林业大学学报, 1996, **20** (1): 22~ 25
- 5 徐化成主编. 油松地理变异和种源选择. 北京: 中国林业出版社, 1992. 229~ 302
- 6 van den Driessche R. Foliar nutrient concentration difference between provenances of Douglas fir and their significance to foliar analysis interpretation. *Can J For Res*, 1973, **3**: 323~ 327
- 7 王章荣, 秦国峰, 陈天华. 马尾松生长气候区与育种区划分的探讨. 陈天华, 王章荣主编. 马尾松种子园建立技术论文集. 北京: 学术书刊出版社, 1990. 86~ 92

Ji Kongsu (Nanjing Forestry University, Nanjiang 210037, Jiangsu, PRC) . **Quantitative Variation of Trace Elements in Needles of *Pinus massoniana* From Different Provenances and Their Correlation With Annual Growth.** *J Zhejiang For Coll*, 1997, **14** (3): 231~ 236

Abstract Ten trace elements in needles of *Pinus massoniana* from 10 provenances were analysed during dormancy with an Inductively Coupled Plasma Quantometer (ICPQ) . And the annual growth of DBH and height was measured. The concentration of three elements was too low to be determined by ICPQ. Variation of the trace element was noted among provenances. Coefficients of the variation tend to be smaller with the decrease of the element concentration. Contents of several elements were negatively correlated with the latitude and the longitude of provenances. An analysis of stepwise regression between trace elements and the growth of both DBH and height indicated that the content of Li could be used as an early test factor for the growth of *Pinus massoniana*.

Key words *Pinus massoniana*; leaves; trace elements; provenance test; increment