

广东鼎湖山马尾松年轮元素含量及其相关性研究*

侯爱敏 彭少麟 周国逸

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

Concentrations and Correlation of Eight Important Elements in the Annual Rings of *Pinus massoniana* in Dinghushan, Guangdong. Hou Aimin, Peng Shaolin, Zhou Guoyi (South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650). *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(1): 6~9.

The concentrations of the elements in the annual rings of *Pinus massoniana* reflect the influence of both regional factors and species characteristics in absorbing, accumulating and distributing elements. The changes of environmental factors may result in concentration changes of elements in tree rings. Therefore, variations of tree ring element concentration may provide some clue in studying environmental changes. Some of eight elements studied are strongly correlated with others, the reason of which might be their similar structural and enzymatic functions in the plant cell, similar chemical properties and similar or opposite reaction to variations in some environment factors.

Key words: *Pinus massoniana*, tree ring, element, sequence, correlation.

关键词: 马尾松, 年轮, 元素, 排序, 相关性

中图分类号: S718.51

文献标识码: A

文章编号: 1000-4890(2002)01-0006-04

马尾松 (*Pinus massoniana*) 是我国目前造林数量最多的树种之一, 研究其体内各种矿质元素的含量变化及相关性关系有助于了解该物种的选择性吸收、积累和分配各种元素的能力; 而且对年轮元素含量的分析使我们有可能研究树木生命史中内外因子的变化对树木的元素吸收和积累的影响; 同时, 植物元素的含量又不可避免地打上了区域的烙印, 因此, 此类研究对区域植物地球化学的研究具有重要意义。

1 材料和方法

鼎湖山自然保护区位于广东省肇庆境内, 距广州市 86km, 位于 23°08'N, 112°35'E, 地处南亚热带南缘。马尾松采自保护区针叶林永久样地附近, 海拔约 250m, 坡度 25~30°, 坡向南 10°西, 土壤为砖红壤性红壤, 土层较薄, 一般厚度为 30cm; 冠层隐蔽度 60% 左右, 树高 15~25m, 胸径 30~60cm。共采 4 株树, 年轮大部分从 60 年代开始, 各株相距不超过 10m。于每株胸高处 (1.3m 左右) 锯取约 5cm 厚的圆盘, 烘干后磨平、抛光, 用加拿大 Regent 公司的 Win Dendro 年轮测量系统测量年轮宽度并进行交叉定年, 然后将年轮以两年为一段截开, 磨碎后进行元素含量分析。

样品分析测定。N 用浓硫酸-高氯酸消化, 自动离子分析仪 (美国) 测定; 其它元素用三酸消化 (HNO₃ - H₂SO₄ - HClO₃ 按 8:1:1 混合), 原子吸收

光谱仪 (澳大利亚, GBC932AB 型) 测量 Ca, Mg, K, Na, Mn 和 Fe; 比色法 (日本产 Shimadzu 数字显示分光光度计 UV-120-02 型) 测 Al。

2 结果与讨论

2.1 年轮元素的含量及其序列

4 棵树中 8 种元素的含量如表 1。由于类似对马尾松年轮元素含量的研究报道较少, 所以很难比较其含量水平。根据李志安¹⁾ 对该地区马占相思 (*Acacia mangium*)、湿地松 (*Pinus elliotii*) 等 5 个物种树干元素含量的研究, 不同物种木质部对同一元素的积累是差别极大的, 马尾松年轮中各元素的含量除 N 偏低外, 其余均处于中等水平; 与张旭东等^[5] 对安徽马尾松树干 6 种主要营养元素的测定结果相比, N 和 K 含量接近, 而 Ca 和 Mg 稍低, 这显示了土壤和母质的影响。进一步的比较发现, 马尾松针叶 N 的含量虽不及固 N 树种马占相思和大叶相思 (*A. auriculiformis*), 但与湿地松等针叶树种基本持平^[2, 11], 故木质部偏低的 N 含量可能是马尾松营养分配的一种策略。

1) 李志安. 中国南亚热带人工林营养生态研究 [C]. 广州: 博士学位论文, 1999.

* 国家自然科学基金重大项目 (39899370)、广东省自然科学基金重大项目 (980952) 和中国科学院“九五”重大项目 (KZ951-B1-110) 和 (KZ95-T-40-02-03) 资助。

作者简介: 侯爱敏, 女, 26 岁, 博士。研究方向为树木年轮学, 已在包括 SCI 收录的刊物《科学通报》在内的各级刊物发表论 8 篇。

8种元素含量的排序在4棵树中具有类似的格局,N,Al,K和Ca居前,Na和Mg居中,Fe和Mn居最后两位。张旭东等^[5]对生长于以玄武岩、石灰岩母岩的黄壤、黄棕壤上的马尾松树干的测定结果为:Ca>N>K>Mg>P;李志安¹⁾在本地区测定的5个物种树干含量变化较大,其中湿地松为:N>Mg

>K>Fe>Mn>Na。两种对比结果明显地反映出区域土壤元素等外因和物种生物学特性的影响。4棵树的不同之处在于,前4位(主要是Al和N)、中间两位和后两位元素位置的互换,由于这4棵树生长于同一样地,彼此相距不超过10m,它们之间的差别可能是由局地微生态因子的影响,当然也不能排

表1 4棵马尾松60~90年代年轮元素含量变化(mg·g⁻¹)

Tab.1 Dynamics of element concentrations in the annual rings of 4 *P. massoniana* trees from 1960s to 1990s

序号	时间(年)	N	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Al
1	1970	0.614	0.371	0.689	0.165	0.184	0.085	0.04	1.206
	1980	0.581	0.317	0.517	0.141	0.164	0.066	0.04	0.639
	1990	0.695	0.521	0.422	0.139	0.148	0.053	0.038	0.641
2	1960	0.765	0.33	0.772	0.235	0.107	0.081	0.068	0.932
	1970	0.733	0.314	0.521	0.172	0.107	0.054	0.048	0.505
	1980	0.727	0.379	0.424	0.135	0.196	0.037	0.037	0.637
3	1960	0.9	0.537	0.408	0.107	0.14	0.03	0.031	0.689
	1970	0.781	0.453	0.608	0.164	0.157	0.062	0.065	1.914
	1980	0.702	0.361	0.528	0.12	0.117	0.055	0.043	0.866
4	1960	0.8	0.445	0.536	0.111	0.128	0.052	0.037	1.248
	1970	1.052	0.663	0.397	0.104	0.223	0.058	0.034	1.418
	1980	0.803	0.341	0.641	0.258	0.11	0.093	0.076	1.143
	1970	0.677	0.363	0.532	0.215	0.14	0.042	0.045	0.33
	1980	0.734	0.431	0.454	0.197	0.137	0.06	0.045	0.503
	1990	0.955	0.518	0.428	0.184	0.122	0.049	0.028	0.523

除样树个体特征的影响。

鼎湖山土壤元素含量顺序为^[3,8]:Al>Fe>K>Mg>Ca>Mn>N,对比年轮元素含量的排序,可以看到较大的相似之处,Al的含量在两个序列中都居前列,而Mn的含量都居列尾,其它元素居中,说明土壤对植物元素的含量具较大的影响。一方面,两个序列中的不同之处也是很明显的,如Fe的含量在土壤中位居第二,而在马尾松年轮中却处于倒数第二的位置;相对于土壤中的排序,Ca和N的含量在马尾松中出现前移,基本上都位居K之前。这些不同之处,一方面,是由于马尾松对元素的选择性吸收和积累,另一方面,则与元素在土壤中存在的状态有关。鼎湖山赤红壤全K的含量虽高,但有效K并不很高,这有可能是导致植物中K含量比土壤中后移的原因;N是所有林木必须逆浓度梯度从土壤中吸收的营养物质,这可以解释其位置的前移;而鼎湖山土壤中Fe含量较高,强酸性的土壤条件、高温高湿的气候条件使活性Fe的含量也很高,故马尾松年轮中较低的含Fe量说明该物种对Fe有排斥性吸收,或者Fe元素在木质部的积累较少;另外一个影响因素是物种的元素分配策略,即可能在树干木质化之前,部分营养元素,如K和N等大量迁移出去,而Ca等不易迁移的元素则在木质部积累。随着时

间的推移,8种元素的排序在4棵树中表现出了类似的变化趋势。首先,Al和N的位置大都出现了互换,20世纪60,70年代,Al的含量都高于N的含量,而随着时间的推移,除3号样树,另外3棵样树中,N逐渐取代了Al的位置而居首位。其中,3号样树较为特殊,在40年中Al的含量始终高于其他N的含量而位居排序表的首位。此外,K和Ca的含量也随时间出现了互换。90年代之前,Ca含量的10年均值都高于K的含量,有时甚至高于N(在1,2号样树中)的含量,到90年代,4棵树无一例外,出现了K和Ca位置互换的现象;在60,70年代,Mg的含量基本都高于Na的含量,到80,90年代,情况则出现了逆转;Fe和Mn的位置较为固定,基本处于8种元素的最后两位,且主要为Fe>Mn的含量,仅有一次出现了Mn<Fe含量的现象。引起不同时期年轮元素含量顺序变化的原因,并不排除马尾松随年龄的增长对各元素吸收和积累能力的变化的影响,但更多的研究者将其与环境的变化相联系,认为变化的环境如环境污染、地球生态破坏等引起了年轮中各元素含量的非同向的变化趋势^[9,10,12],如在

1)见6页1)。

我们的研究中, N 和 K 的含量在近 30 年中有缓慢上升的趋势, 而 Ca, Mg 和 Mn 则在 40 年中有较大幅度的下降, 都有可能是酸雨影响的结果。由此, 许多研究者尝试通过对年轮化学元素含量变化的分析, 来揭示区域环境污染的历史, 并取得了不少有价值的成果^[6,10,12,14]。

2.2 年轮元素的相关性

4 棵样树年轮中同一种元素的含量高度相关。在同一棵树中, K 和 N, Ca 和 Mg 在 4 棵样树中都为极显著正相关(相关系数的范围分别为 0.777 ~ 0.943, 0.699 ~ 0.960), K 和 Ca 为显著负相关(-0.521 ~ -0.755), N 和 Ca 除 2 号样树外为显著负相关(-0.471 ~ -0.654), K 和 Mg 除 1 号样树外为极显著负相关(-0.524 ~ -0.674); Ca 和 Mn, Mg 和 Mn 除 1 号样树外为极显著正相关(0.816 ~ 0.957, 0.905 ~ 0.982), K 和 Mn 除 1 号样树外为极显著负相关(-0.566 ~ -0.786); N 和 Mn 在 3 号样树中表现出了显著负相关(-0.558), N 和 Na, K 和 Na 在 3 号样树中都表现出了极显著的正相关(0.652, 0.784); Fe 和 Al 与任何元素都未表现出相关性。

关于植物元素含量的相关性早有报道。Charles^[13]对散布于不同区域的 38 个不同物种的调查发现, Ca 和 Mg, K 和 Mg, N 和 P 具有显著或极显著的相关;李志安^[1]对马占相思、湿地松等 5 种人工林树种的研究发现 N, P, K, Ca, Mg 和 Mn 之间具有显著或极显著的相关性;董雅文等^[9]对 4 棵马尾松和 4 棵黑松的 8 种元素含量的研究, 显示了 Ca 和 Mg, K 和 Mn 等元素, K, P 和 Mg 等元素的相关;此外, 孔令韶等^[11]对 87 种植物 12 种元素含量的相关性也有报道。

植物所含有的元素之间的相关性, 可能因为它们涉及到细胞的基本结构与功能^[13]。在植物细胞中, Ca 与 Mg 在细胞结构与酶功能上相关联, Mg 是构成叶绿体结构的关键, 而 Ca 是细胞壁胶质的重要组分, 这 2 种元素之间的显著正相关可能是由于它们与代谢和光合活动的紧密关系所引起: 二者都是代谢活动的酶活化剂; K 和 Mg 的相关可能是由于二者都对某些酶的活动起关键作用, 而且都与光合活动有关; Mg 和 Mn 同是 N 代谢中重要的硝酸还原酶的活化剂, 二者在某种程度上可以相互取代。另外可能导致元素之间相关的因素是它们共同的化学特征, 如 Ca, Mg 和 Mn 离子均为二价, 在透过细

胞膜时可能有类似的机制在起作用。

表 2 4 棵样树年轮元素含量的相关性

Tab. 2 Correlation of element concentrations for the 4 sample trees

样树	元素	N	K	Ca	Mg	Mn	Na	Fe	Al
1 号	N		++	-	O	O	O	O	O
	K			-	O	O	O	O	O
	Ca				++	O	O	O	O
	Mg					O	O	O	O
	Mn						O	O	O
	Na							O	O
	Fe								O
	Al								
2 号	N		++	O	O	O	O	O	O
	K			-	-	O	O	O	O
	Ca				++	O	O	O	O
	Mg					++	O	O	O
	Mn						O	O	O
	Na							O	O
	Fe								O
	Al								
3 号	N		++	-	O	-	++	O	O
	K			-	-	-	++	O	O
	Ca				++	++	O	O	O
	Mg					++	O	O	O
	Mn						O	O	O
	Na							O	O
	Fe								O
	Al								
4 号	N		++	-	O	O	O	O	O
	K			-	-	-	O	O	O
	Ca				++	++	O	O	O
	Mg					++	O	O	O
	Mn						O	O	O
	Na							O	O
	Fe								O
	Al								

注: +, - 表示显著相关, 即 $p < 0.05$; ++, -- 表示极显著相关, $p < 0.01$ 。

元素之间的相关也有可能是共同的环境因子影响的结果。研究表明, K 和 N 在年轮中的含量在近 30 年中上升的趋势, 而 Ca, Mg 和 Mn 则在 40 年中明显的下降趋势, 初步研究表明, 这种趋势与区域酸雨的影响有关(将另文探讨), 不排除本研究中 5 种元素之间的相关是由于其对外界控制因子的相同或相反反应所引起的。而夏增禄等^[7]对我国赤红壤、砖红壤等 10 个主要土壤类型元素含量相关关系的报道, 也未发现本研究中的相关元素对。

值得注意的是, 元素之间的显著相关未必就意味着二者之间仅仅是明显的协同或拮抗的关系, 而元素之间不表现出明显的相关关系未必就意味着二

1) 见 6 页 1)。

者毫无关系。例如^[4],Ca和Mg虽普遍的表现出明显的正相关,却有实验证明二者之间有明显的拮抗作用,在大多数植物中,Ca都抑制Mg的吸收,反之亦然;Mn亦强烈地抑制Mg的吸收,而我们却发现了二者显著的正相关关系;而Ca能够显著促进K的吸收、抑制Al的吸收,但在我们的结果中却未能表现出来,甚至表现为相反的关系。因此,植物元素含量之间的关系是复杂的,是多种要素相互影响制约的结果,要揭开各元素之间相关的机理,还需要进一步的研究。

3 结论

4棵马尾松8种元素含量的序列,既表现出区域土壤等因子的影响,又反映出物种生物学特性的影响。其中较高的Al含量反映出典型的赤红壤中旺盛的富铝化特征,而年轮中元素排序与土壤中的又不尽相同,反映出了马尾松对各元素的选择性吸收和积累。随着时间的变化,4棵树年轮中元素的含量排序表现出了类似的变化,说明有共同的环境控制因子在起作用。

在8种元素中,4棵树中同一元素的含量高度相关;而在同一棵树中,8个元素中出现了K和N,Ca和Mg,K和Ca,N和Ca,K和Mg,Ca和Mn,Mg和Mn,K和Mn,N和Mn等显著或极显著的正相关或负相关对,这些相关对形成的机理可能涉及到元素在细胞的基本结构和功能中所起的作用,元素

的化学特性,或元素对某一环境因子的变化的同向或异向的反应等复杂的因素,仍需进一步的研究。

参考文献

- [1] 孔令韶,李渤生,郭柯,等.喀喇昆仑、昆仑地区植物中一些元素的自然含量特征[J].植物生态学报,1995,19(1):13~22.
- [2] 严昌荣,陈灵芝,黄建辉,等.中国东部主要松林营养元素循环的比较研究[J].植物生态学报,1999,4(23):8~17.
- [3] 何宜庚.广东省鼎湖山自然保护区的土壤[J].华南师范大学学报(自然科学版),1983,1:87~96.
- [4] 邹邦基,何雪晖.植物的营养[M].北京:农业出版社,1985.
- [5] 张旭东,薛明华,许军.安徽马尾松人工林营养元素分配格局的研究[J].应用生态学报,1993,4(1):5~11.
- [6] 夏冰,扬开红,兰涛.树木年轮年代学及其在环境研究中的应用概况[J].环境科学,1991,12(5):58~62.
- [7] 夏增禄,穆从如,李森照,等.中国若干土壤类型剖面中元素的自然含量特征及其相关关系[J].中国科学(B辑),1985,7:658~667.
- [8] 唐永奎,谢永泉,汪晋三,等.广东主要景观类型的生物地球化学特点[J].地理学报,1962,4(28):290~304.
- [9] 董雅文,钱君龙,黄景芳,等.南京栖霞山地区树木年轮元素的相关性及其组合类型[J].应用生态学报,1995,6(2):133~137.
- [10] 蒋高明.运用油松年轮揭示承德市硫及重金属污染的历史[J].植物生态学报,1994,18(4):314~321.
- [11] 管东生.流溪水库林区森林生态系统养分的研究[J].热带亚热带森林生态系统研究,1989,5:123~134.
- [12] Baes,C. F. III and Mclau Phlin S. B. Trace element in tree rings: evidence of recent and historical air pollution[J]. Science,1984,224:494~497.
- [13] Charles, T. G. Correlations between concentrations of elements in plants[J]. Nature,1976,261:686~688.
- [14] Leep,N. W. The potential of tree - ring analysis for monitoring heavy metal pollution patterns [J]. Environmental Pollution, 1975,9:49~61.

(收稿:2000年9月18日,改回:11月15日)