

文章编号: 0254-5357(2005)02-0129-06

树木年轮学在环境变化研究中的应用

王亚平, 许春雪

(国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘要: 由于树木在其生长的过程中, 需要从环境中吸收养分和能量并且从环境中汲取各种化学元素到每年的生长层(即年轮)中, 所以树木年轮与它们的生长环境是密切相关的。树木年轮可以提供树轮生长的环境要素信息, 其应用领域也日益扩大。文章综述了树木年轮长年表的建立以及在气候变化、环境污染等方面的若干应用, 并且概述了树木年轮研究方法的进展。

关键词: 树木年轮学; 环境

中图分类号: X142

文献标识码: A

在树木的横截面上, 可看到许多深浅颜色相间的同心圆环, 这就是人们所熟知的树木年轮。年轮又称生长轮或生长层, 它是一种由许多浅色、宽的薄层细胞和深色、窄的厚壁细胞相间组成的木质同心圆环^[1]。树木从环境中吸收养分和能量并且从环境中汲取各种化学元素到每年的生长层(即年轮)中, 所以树木年轮与它们的生长环境是密切相关的^[2]。因此, 树木年轮作为环境变化的“档案”具有重要的科学研究意义, 它被广泛应用于气候学、考古学、水文学、生态学、环境科学等方面, 其应用领域还在不断地扩展, 已成为一门发展较快、跨领域的综合性学科^[2]。本文旨在概述树木年轮学在环境变化研究中的应用以及最新的研究进展, 以展现这一领域的研究在环境污染变化和全球气候变化等方面中的重要作用。

1 建立树轮长年表

树木年轮年代学是利用树木生长的年层进行断代的一门科学^[3], 在20世纪初由美国天文学家 Douglass 创建^[4]。树木年轮过去常用来推算某些历史事件发生的具体年代, 例如在浩瀚的海洋里有历代沉没的许多船只, 考古学家就根据树木年轮来确定这些沉船的遇难年代等。

利用树木年轮年代的研究来建立树木年轮长年表对于在考古研究和环境变化等方面的研究是至关重要的。长年表可为准确定年提供服务。20世纪40年代,¹⁴C同位素测定年代的方法被运用到考古研究中, 但由于碳测定本来就只能求近似值并且碳放射性同位素在大气中存在的比例受到各种因素的影响而不断波动, 从而使得定年存在很大的误差^[5]。美国加利福尼亚刺毛球松长年表^[6]的建立, 为¹⁴C测年提供了校准曲线, 使¹⁴C测年的精度提高。目前, 为定年提供服务的树木年轮表在北美洲达8600多年, 欧洲为10000多年, 南美洲为3600多年, 澳洲为3000多年^[7]。近年来, 我国的树木年代学研究也获得了重大进展, 以中国科学院寒区旱区环境与工程研究所张齐兵博士为首的课题组建立了公元前326年至公元2000年的树木年轮序列表, 该表是我国目前时间最长的树木年轮序列表^[8]。

2 树木年轮在气候变化研究中的应用

由于树木年轮资料具有定年精确、分辨率高、连续性强、地域分布广泛等特点, 使得树木年轮广泛应用于过去全球气候环境变化的研究中^[9]。

收稿日期: 2004-08-25; 修订日期: 2004-12-28

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999045707)

作者简介: 王亚平(1956-), 男, 山西定襄人, 研究员, 博士, 主要研究方向为环境地球化学和分析测试。

2.1 利用年轮宽度重建气候的变化

早在19世纪初或更早的时候,就曾有一些科学家,如法国的 Duhamel 和 Buffon,美国的 Twining 及前苏联的 Shvedov 等,对树木年轮的形成进行过研究,尝试建立树木年轮宽窄变异与某种气候要素变化的可能联系^[10]。树木年轮学最初的研究目的就是通过对年轮宽度的变化规律找出气候变化的规律。自从 Douglass 确立了树木年代学的原理和方法以来,树木年轮宽度一直就是树木年代学的主要研究对象,且大部分的研究都是利用年轮宽度来重建过去上百甚至几千年的降雨量和温度变化,以弥补气象资料的不足^[11]。

目前,世界各国在利用树木年轮宽度重建古气候变化的研究方面获得了一定的进展。英国利用树木年轮成功地重建了爱丁堡 1721 ~ 1975 年间的温度^[12]。美国 Graybill 和 Shiyatov^[13]以及 Graumlich^[14]等重建了美国 1 000 多年来的温度和降水。Briffa 等^[15]利用树木年轮成功重建了芬诺斯堪迪亚地区从公元 500 ~ 1990 年间共 1 400 年的夏季温度。Lara 在 1993 年用树木年轮宽度重建了过去 3 620 年间南美南部的气温变化^[16]。Earle 也在 1993 年利用树木年轮宽度重建了加利福尼亚河川径流量的变化^[17]。在我国,刘洪滨等^[18]采用秦岭冷杉年轮宽度重建了陕西镇安 200 多年以来的初春温度。张志华等^[19]利用树木年轮资料重建了新疆东天山 300 多年来的干旱日数,与实际旱涝情况吻合良好。康兴成等^[20]利用树木年轮的宽度变化重建了青海都兰过去 2 000 年来的气候变化。邵雪梅等^[21]利用树轮宽指数资料作为过去气候的代用资料重建了长白山区 1655 年以来 1 ~ 4 月月平均最高气温的变化。刘禹等^[22]基于年轮宽度指标,精确重建了呼和浩特过去近 376 年以来 2 ~ 6 月降水总量的演变历史。

2.2 年轮密度分析研究气候变化

树木年轮的密度分析,是自 20 世纪 80 年代以来树木年轮气候学研究中的一个更大突破^[23]。它不同于年轮宽度分析,年轮密度是细胞直径、细胞壁厚度和分裂速度等细胞特征的综合反映^[24]。这种细胞结构差异造成的密度变化,在某种程度上也是受外界气候与环境变化的影响。年轮密度作为反映气候变化的新资料,有两个明显的优越性^[24]:

① 温暖、湿润地区年轮宽度逐年变化很小,难以分析,但年轮密度变化较为明显。据此与气候要素建立函数关系,就可得到相关的气候信息。② 年轮密度反映某季节内或其中某个时期的气候状况。

欧洲、北美的许多国家的树木年轮学家已开始采用年轮密度分析,研究树木年轮密度与气候、环境变化的关系,建立密度年表。Wimmer 和 Grabner^[25]通过研究云杉发现年轮中树脂导管密度相对于年轮宽度特征来说与气候的关系更为密切。Briffa 等^[26]用树木年轮密度重建了北美洲西部 1 600 年以来夏季的温度变化。在我国,虽已有大量树木年轮气候学的研究成果,但大都限于年轮宽度,密度分析的成果很少。吴祥定和邵雪梅^[23]于 1990 和 1991 年采集了秦岭四个地点的树木年轮样本进行密度测量,分析结果表明密度变异对气候变化有显著的响应,密度年表可以成为表征过去气候的代用资料。张志华和李骥^[27]利用天山云杉晚材宽度指数、最大密度指数和最小密度指数重建了新疆吉木萨尔县 6 ~ 9 月份的降水,利用最大密度指数和最小密度指数重建了该地 4 ~ 9 月份平均最高温度,重建结果与实际情况较为一致。

2.3 树木年轮同位素的分析研究

树木年轮稳定同位素研究是近 20 多年来在国际上兴起的一个新的领域^[28]。分析树木年轮中的稳定同位素的丰度变化,可获取高分辨率的气候代用记录,在重建历史上的气候变化方面也起着重要的作用。

在全球范围内,研究树木年轮中的碳同位素开展得最早也最多^[29]。主要原因有两个:一方面是树木年轮碳同位素研究为重建全球碳循环的演化提供了新线索;另一方面是由于碳比较稳定,同时树木年轮中碳元素的来源和化学存在状态比氢氧简单,实验相对简单。目前,国外已经在这方面进行了大量的研究工作。Libby 研究了德国橡树后发现利用同位素数值得到的温度符合当地气象记录,并且还发现树木年轮中同位素数据标志的冷暖期与用其它方法确定的冷暖期完全一致^[30,31]。Minze Stuiver 等^[32]通过研究北美 19 棵球松树 1850 年前纤维素中¹³C/¹²C 同位素丰度比率,发现同位素丰度比率的变化与所处的纬度有密切的关系,这说明相对湿度和温度可能是重要的影响因素,并且

计算出了碳同位素比率和温度数值之间的相关系数。在我国,树轮稳定同位素的研究虽然起步比较晚,但也获得了可喜的成绩。刘禹等^[33]通过对贺兰山油松稳定碳同位素的分析,用转换函数模拟重建了1890年以来贺兰山地区夏季6~8月气温。沈吉和陈毅风^[34]对采自南京太平门的雪松树木年轮 α -纤维素的 $\delta^{13}\text{C}$ 进行分析,发现南京地区树木年轮 α -纤维素的稳定碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值与5~7月平均降雨量及5~9月平均气温显著相关,并且结合江苏气象台的气象记录对该地区近20年来的气候进行了重建,重建值与观测值吻合较好。钱君龙等^[35]用天目山柳杉树木年轮的 α -纤维素的 $\delta^{13}\text{C}$ 重建了天目山地区近160年的气候。刘晓宏等^[36,37]对采自西藏的喜马拉雅冷杉(*Abies spectabilis*)进行了分析,将 $\delta^{13}\text{C}$ 序列减去生长趋势和大气 CO_2 浓度升高导致大气 $\delta^{13}\text{C}$ 下降影响后得到 $\Delta^{13}\text{C}$,利用附近气象资料,研究表明冷杉 $\Delta^{13}\text{C}$ 的高频振荡与季节的气温、降水、空气相对湿度显著相关,并存在强的滞后效应。陈拓等^[38]利用新疆昭苏云杉树木年轮纤维素中 $\Delta^{13}\text{C}$ 与降水之间交互相关的函数关系,恢复了近300年来的新疆昭苏地区的降水变化,恢复的系列与历史文献记录和树轮宽度指数所揭示的历史降水有很好的对应性。

3 树木年轮在环境污染变化研究中的应用

树木的生长除了受到气温、降水、土壤和地形等自然环境因子的影响外,人为因素造成的环境污染也对树木的生长产生影响。因此,树木年轮也是环境变化的记录计,通过对年轮宽度、年轮结构和年轮中元素浓度的分析,可以推测过去的环境变化,并且树木年轮对研究近代污染同样具有重要的意义。

20世纪60年代初,Schroeder和Balassa就分析了木材中Pb和Cd的含量,并把外层年轮中Pb含量的增高同Pb污染相联系^[39]。Baes和McLaughlin提出利用树木年轮中多元素含量分析法推断过去和现在的空气污染情况^[40]。他们采集了美国田纳西橡树岭和大雾山国家公园中的8株硬木树种、6株针叶树种的树芯样品,研究认为1863~1912年间的树木生长衰退是由于附近冶炼含有铁铜硫化物的矿石并无控制地大量排放 SO_2

和其它燃烧物造成的。西德的科学家为查明微量元素对大气污染的影响,用光谱分析法对弗兰肯等三个地区的树木年轮中微量元素的含量进行了详细的测定^[1],了解到近120~160年内,这些地区中Pb、Zn、Mn等有毒金属元素的污染情况,经过对不同时代的污染程度进行对比分析,终于找到了这些地区出现环境污染的主要原因。瑞典、日本也报道过用松树等树木年轮中重金属Cu、Zn、Pb、Hg的含量来分析工厂污染状况。

在国内,树木年轮学在研究环境污染中的应用起步比较晚,相对比较落后。段沛生等^[41]从14年滇杨年轮中Pb、Zn含量推断出了会泽铅锌矿1970~1983年历史污染状况,也验证了关于“树木年轮的重金属含量可用来构筑环境污染历史”的观点。喻斌等^[42]通过对污染敏感树种油松年轮宽度和元素含量的变异与沈阳工业发展的相关分析,证明了北陵和东陵的古油松年轮宽度的变异与污染指标之间呈显著相关,揭示了城市环境质量与树木年轮变异之间的相关规律。蒋高明等^[43,44]通过对承德地区枯死的油松(*Pinus Tabulaeformis*)古树年轮内S含量的分析,发现其含量从44.4 $\mu\text{g/g}$ 上升到了近10年来的420.77 $\mu\text{g/g}$,从而揭示出大气中的 SO_2 浓度从0.1 $\mu\text{g/m}^3$ 上升到目前的>30 $\mu\text{g/m}^3$,增加了近300倍。这一过程与城市化尤其是工业化过程密切相关。钱君龙等^[45,46]对树木年轮中的元素含量和根部土壤中元素含量相关性做出了分析,研究认为树木年轮中的元素含量与根部土壤中的对应元素含量满足对数线性关系,并且利用这种相关模式,通过测定逐年年轮中元素的含量,估算出了根部土壤中对对应元素的逐年演变。

4 其它研究应用

除上面所述之外,旱灾、火灾、太阳活动的变化、森林病虫害、火山喷发、地震和冰川运动等对树木生长的影响都能在树木年轮中反映出来。因此可以利用树木年轮来研究这些异常的气候环境变化。在火灾发生时,会在年轮上形成伤疤,这种伤疤不会受新年轮的影响并保存下来,根据伤疤出现的频率和年代可以重建森林火灾史^[17]。在火山爆发后,火山的尘埃造成气温降低到冰点以下,树木的生长对此极为敏感从而留下明显的印记(通常

颜色较暗,细胞壁厚),这种年轮称为霜轮,树木的霜轮可作为重大火山活动的记录。王玉玺等^[47]利用祁连山圆柏(*Sabina przewalskii*)年轮分析了我国近千年气候变化和冰川进退的关系,发现冰川的进退和气候的冷暖变化有密切的关系。这些方面的深入研究对气候学、生态学、考古学等学科的研究都起到了重要的推动作用。

5 研究方法及进展

研究树木年轮的工作十分复杂,最初的研究方法主要是利用年轮量测仪器与计算机联机使用,从而得到树木年轮的宽度值^[10],然后利用树木年轮的宽度数据建立树木年轮年表,并且结合现有的气象资料来重建过去的气候变化。但是重建的精度和可靠性并不是很大。20世纪80年代初产生了树木年轮的图像分析,最开始的研究是利用图像分析技术对树木的木质部结构,包括细胞大小、导管厚薄等进行数值化处理^[48]。80年代末,随着树木年轮密度越来越受到科学家的重视,便产生了用图像分析技术获取图像亮度资料的研究^[49]。利用图像分析能同时得到年轮宽度、最大反射亮度、最小反射亮度、早材轮宽、晚材轮宽、早材平均亮度、晚材平均亮度和整个年轮的平均亮度共8个树轮指标,大大节省了时间^[7],并且研究证明图像分析可以满足树木年轮的年代分析,它为定年提供了方便。

树木中微量元素的分析常采用干法或湿法溶解样品后再进行仪器分析^[50],仪器分析通常都采用的电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)、等离子体原子发射光谱(ICP-AES)和石墨炉原子吸收光谱仪(GFAAS)。但ICP-AES、ICP-MS优于原子吸收法,主要是因为用质谱和光谱进行测定时取样量少、干扰少,并且可同时进行多元素分析。20世纪80年代高功率激光和电感耦合等离子体质谱仪的结合产生了一种可以对固体材料进行原位纳克级采样及提供同位素组成信息的分析工具,这种工具被称为激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICPMS)分析。地质学家和冶金学家把这门技术用于了微结构的分析^[51]。LA-ICPMS在环境中的主要应用就是植物材料分析(树木年轮、树皮及树叶),这一技术的发展在树木年轮化学元素含量测定方面也起到了重要的作用。

6 结束语

树木年轮是大自然千变万化的活的历史见证,为人类提供了大量珍贵的科学资料。随着研究的深入和技术手段的改进,树木年轮的应用范围也越来越广泛,在考古学、历史学、气候学及环境科学等许多学科中都发挥着重要的作用。这些研究在帮助人们了解和研究全球气候变化和环境污染变化等方面具有重要的理论和现实意义。考虑到影响树木年轮的因素很多,为减少树木年轮在研究中的不确定性,今后将有关树木年轮对气候环境变化影响所引起的多方面响应特征综合起来进行的研究将会进一步加强。这一领域的发展也将会为人类的发展和社会的进步做出巨大的贡献。

7 参考文献

- [1] 姚在永,陈业材. 年轮:揭示越来越多的变化[J]. 百科知识. 1983, (5): 64—65.
- [2] Qian J L, Ke S Z, Huang J S, et al. Correlation between Chemical Element Contents in Tree Rings and Soils [J]. *Pedosphere*. 1993, 3(4): 309—319.
- [3] Timothy E, Lewis. Tree-ring as Indicators of Ecosystem Health [M]. CRC Press Inc, 1995. 1—10.
- [4] Douglass A E. A Method for Estimating Rainfall by the Growth of Trees [A]. The Climatic Factors as Illustrated in and America [C]. Lancaster, Pennsylvania: Carnegie Institute of Washington Publication. 1914, 192: 101—121.
- [5] 朱龙华. 碳14、年轮学和文化起源的研究[J]. 百科知识. 1981, (5): 63—65.
- [6] Schulman E, Bristlecone. Pine, Oldest Known Living Thing [J]. *National Geographic Magazine*. 1958, 113(3): 354—372.
- [7] 邵雪梅. 树轮年代学的若干进展[J]. 第四纪研究. 1997, 8(3): 265—271.
- [8] 张奇兵. 我国树木年轮学研究日前获得重大进展 [EB/OL]. <http://www.cas.ac.cn/html/Dir/2002/05/30/6744.htm>. 2002-05-30.
- [9] 黄荣凤,鲍甫成. 异常气候变化与树木年轮[J]. 世界林业研究. 2002, 15(6): 26—31.
- [10] 吴祥定. 树木年轮与气候变化[M]. 北京:气象出版社, 1990. 1—17.
- [11] 王婷,于丹,李江风,等. 树木年轮宽度与气候变化关系研究进展[J]. 植物生态学报. 2003, 27(1): 23—33.

- [12] Hughes M K, Schweingruber F H, Cartwright D. et al. July-August Temperature at Edinburgh between 1721 and 1975 from Tree-ring Density and Width Data [J]. *Nature*. 1984,308: 341—344.
- [13] Graybill D A, Shiyatov S G. A 1009-year Tree-ring Reconstruction of Mean June-July Temperature Deviations in the Polar Urals [C]. In: *Tree-Ring Bulletin*, 1997, Special Issue (Reprinted from Nobel, R D, Martin J L and Jensen K F. Symposium on Air Pollution Effects of Vegetation. USDA Forest Service, Northwestern Forest Experiment Station). 1989, 37—42.
- [14] Gramlich L J. A 1000-year Record of Temperature and Precipitation in Sierra Nevada [J]. *Quaternary Research*. 1993, 39: 249—255.
- [15] Briffa K R, Bartholin T S, Eckstein D, et al. A 1400-year Tree-ring Record of Summer Temperature in Fennoscandia [J]. *Nature*. 1990, 346: 434—439.
- [16] Lara A, Villalba R. A 3620-year Temperature Record from Fitzroya Cupressoides Tree Rings in Southern South America [J]. *Science*. 1993, 39(2): 249—255.
- [17] Earle C J. Asynchronous Droughts in California Streamflow as Reconstructed from Tree Rings [J]. *Quaternary Research*. 1993, 39: 290—299.
- [18] 刘洪滨, 邵雪梅. 采用秦岭冷杉年轮宽度重建陕西镇安 1755 年以来的初春温度 [J]. *气象学报*. 2000, 58(2): 223—233.
- [19] 张志华, 吴祥定, 李骥. 利用树木年轮资料重建新疆东天山 300 多年来干旱日数的变化 [J]. *应用气象学报*. 1996, 7(1): 53—60.
- [20] 康兴成, 张其花. 青海都兰过去 2000 年来的气候重建及其变迁 [J]. *地球科学进展*. 2000, 15(2): 215—221.
- [21] 邵雪梅, 吴祥定. 利用树轮资料重建长白山区过去气候变化 [J]. *第四纪研究*. 1997, 2(1): 76—85.
- [22] 刘禹, 马利民. 树轮宽度对近 376 年呼和浩特季节降水的重建 [J]. *科学通报*. 1999, 44(18): 1986—1992.
- [23] 吴祥定, 邵雪梅. 中国秦岭地区树木年轮密度对气候响应的初步分析 [J]. *应用气象学报*. 1994, 5(2): 253—256.
- [24] 刘广深, 魏建云. 树轮气候学研究的若干进展 [J]. *矿物岩石地球化学通报*. 1995, (1): 63—64.
- [25] Wimmer R, Grabner M. Effects of Climate on Vertical Resin Duct Density and Radial Growth of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) [J]. *Tree*. 1997, (11): 271—276.
- [26] Briffa K R, Jones P D, Schweingruber F H. Tree-Ring Density Reconstruction of Summer Temperature Patterns Across Western North America since 1600 [J]. *Journal of Climate*. 1992, (5): 735—754.
- [27] 张志华, 李骥. 用树轮密度及宽度资料重建新疆吉木萨尔县的季节降水和最高温度 [J]. *气象学报*. 1998, 56(1): 77—86.
- [28] 杨忠芳, 朱立, 陈岳龙. 现代环境地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1999. 90—104.
- [29] 刘广深, 米家榕, 戚长谋, 等. 树轮稳定碳同位素研究的应用现状与发展趋势 [J]. *世界地质*. 1996, 15(4): 42—48.
- [30] Libby L M, Pandolfi L J. Temperature Dependence of Isotope Ratios in Tree-rings [J]. *Proc Nat Acad Sci*. 1974, 71: 2482—2486.
- [31] Libby L M, Pandolfi L J. Tree Thermometers and Commodities: Historic Climate Indicators [J]. *Environment International*. 1979, 2: 317—333.
- [32] Minze Stuiver, Thomas F, Braziunas. Tree Cellulose $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Isotope Ratios and Climatic Change [J]. *Nature*. 1987, 328: 58—60.
- [33] 刘禹, 马利民, 蔡秋芳, 等. 采用树轮稳定碳同位素重建贺兰山 1890 年以来夏季 (6 ~ 8 月) 气温 [J]. *中国科学*. 2002, 32(8): 667—674.
- [34] 沈吉, 陈毅凤. 南京地区近二十年来雪松树轮的稳定碳同位素与气候重建 [J]. *植物资源与环境学报*. 2000, 9(3): 34—37.
- [35] 钱君龙, 吕军, 屠其璞, 等. 用树轮 α -纤维素 $\delta^{13}\text{C}$ 重建天目山地区近 160 年气候 [J]. *中国科学*. 2001, 31(4): 333—341.
- [36] 刘晓宏, 秦大河, 邵雪梅, 等. 西藏林芝冷杉树轮稳定碳同位素对气候的响应 [J]. *冰川冻土*. 2002, 24(5): 574—578.
- [37] Liu X H, Qin D H, Shao X M, et al. Climatic Significance of Stable Carbon Isotope in Tree Rings of *Abies Spectabilis* in Southeastern Tibet [J]. *Chinese Science Bulletin*. 2003, 48(18): 2000—2004.
- [38] 陈拓, 秦大河, 李江风, 等. 新疆昭苏云杉树轮纤维素 $\delta^{13}\text{C}$ 的气候意义 [J]. *冰川冻土*. 2000, 22(4): 347—352.
- [39] Schroeder H A, Balassa J J. Cadmium: Uptake by Vegetables From Superphosphate and Soil [J]. *Science*. 1963, 140: 819—820.
- [40] Baes III C F, McLaughlin S B. Trace Elements in Tree

Rings: Evidence of Recent and Historical Air Pollution [J]. *Science*. 1984,224:494—497.

[41] 段沛生,王焕校,葛梦雁. 从树木年轮铅、镉、锌含量分析看会泽铅锌矿历史污染[J]. 云南大学学报(自然科学版). 1992,14(2):227—232.

[42] 喻斌,黄会一. 城市环境中树木年轮的变异及其与工业发展的关系[J]. 应用生态学报. 1994,5(1):72—77.

[43] 蒋高明. 树木年轮对大气污染历史过程的指示作用[J]. 城市环境与城市生态. 1994,7(2): 96—99.

[44] 蒋高明. 运用油松年轮揭示承德市硫及重金属污染的历史. 植物生态学报. 1994,18(4): 314—321.

[45] Qian Junlong, Ke Shanzhe. Chrono-sequence of Elemental Contents in Tree Rings and Soils[J]. *Pedosphere*. 1994,4(1): 27—33.

[46] Qian Junlong, Ke Shanzhe, Huang Jingsu, et al. Correlation between Chemical Element Contents in Tree Rings and Soils[J]. *Pedosphere*. 1993,3(4): 309—319.

[47] 王玉玺,刘光远. 祁连山圆柏年轮与我国近千年气候变化和冰川的进退关系[J]. 科学通报. 1982,27(21):1316—1319.

[48] Memilan C W. Application of Automatic Image Analysis to Wood Science[J]. *Wood Science*. 1982,(14): 97—105.

[49] Therford R D, D' Arrigo R D, Jacoby G C. An Image Analysis System for Determining Densitometric and Ring-width Time Series[J]. *Canadian Journal of Forest Research*. 1991, 21: 1544—1549.

[50] 冯凤娣,方名均,林溪生,等. ICP—AES(等离子体—原子发射光谱)法测定树木年轮中 22 种元素[J]. 环境科学. 1984,5(4):60—64.

[51] Paul J Sylvester. 地球科学中的激光剥蚀—ICPMS 原理和应用[M]. 林守麟,胡圣红,刘勇胜,等译. 北京:地质出版社.2002,192—202.

Application of Tree-rings in Environmental Changes Studies

WANG Ya-ping,XU Chun-xue

(National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037,China)

Abstract: During the period of growth, trees need to continually take up nutrients and energy from soils and atmosphere, and accumulate various chemical elements taken up in their annual growth rings,i. e. , the tree rings, from the environments. Therefore, tree-rings make a faithful record of the process of environmental changes. The application of tree-rings is increasingly broad. This paper reviews the establishing of tree-rings chronology; application of tree-rings in climate changes, environment pollution and some other fields, and introduces the advances of research methods on tree-rings.

Key words: tree-rings; environment