

# 树木年轮中不同组分稳定碳同位素含量对气候的响应

马利民<sup>1,2</sup>, 刘禹<sup>2</sup>, 赵建夫<sup>1</sup>, 安芷生<sup>2</sup>

(1. 同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092; 2. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

**摘要:**通过研究贺兰山油松树轮中全木、综纤维素、 $\alpha$ -纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  值的变化, 来探讨树木生长过程中引起其中同位素差别的原因, 以及它们对环境变化的响应。研究发现不同组分的  $\delta^{13}\text{C}$  值在过去 30a 中变化并不一致, 其中, 树轮中  $\alpha$ -纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  序列含有最强周围环境变化的信息。 $\delta^{13}\text{C}$  序列和周围大气平均气温和降雨量关系密切, 其中和 6~8 月份的平均气温相关系数为 0.427 ( $\alpha=0.05$ ); 和 2~7 月份总降水量的相关系数为 ( $r=-0.514, \alpha=0.01$ )。分析发现树轮  $\alpha$ -纤维素序列和树轮宽度序列呈显著负相关 ( $r=-0.545, \alpha=0.01$ )。对比树轮各种组分的  $\delta^{13}\text{C}$  值和气候之间的相关性以及和树木的生长量的关系可以发现, 树轮  $\alpha$ -纤维素中碳在经历了光合作用的固碳过程中的同位素分馏后, 其  $\delta^{13}\text{C}$  值就保持了相对稳定, 是研究过去环境变化的良好载体。

**关键词:**树木年轮; 稳定碳同位素; 环境变化; 古气候; 纤维素

## Response of stable-carbon isotope composition of different tree-ring compounds to climatic change

MA Li-Min<sup>1,2</sup>, LIU Yu<sup>2</sup>, ZHAO Jian-Fu<sup>1</sup>, AN Zhi-Sheng<sup>2</sup> (1. The State Key Laboratory of Pollution Control & Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092; 2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an 710075, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2607~2613.

**Abstract:** The stable-carbon isotope ratio ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) of tree rings is an important proxy to research past climate change. Frequently,  $\delta^{13}\text{C}$  has been measured on the cellulose component of wood xylem, but the question arises as to whether other wood components or even whole wood, could be analyzed to produce

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(40071081); 上海市科委资助项目(02DZ12101); 国家 973 重点规划资助项目(G1990434001); 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-108); 黄土与第四纪地质国家重点实验室基金资助项目(ZKLLQG200016); 中国博士后基金资助项目

**收稿日期:**2002-11-09; **修订日期:**2003-07-08

**作者简介:**马利民(1968~), 男, 博士, 讲师, 从事环境科学和植物生态学研究, E-mail: ma\_limin@263.net

**致谢:**美国亚里桑那大学的 S. W. Leavitt 教授提供了部分数据, 并帮助改写了文中的英文部分, 研究中还得到了中国科学院南京地理及湖泊研究所王苏民教授、沈吉教授、钱君龙教授、中国科学院地球环境研究所刘卫国副研究员、曹蕴宁女士、贺兰山国家自然保护区马振山、吕海军先生等的帮助, 在此表示诚挚感谢。

**Foundation item:** The Ministry of Science and Technology of China (No. NKBRFS G1990434001), The Committee of Science and Technology of Shanghai (No. 02DZ12101) The National Natural Science Foundation of China (No. 40071081), Innovation Fund of Chinese Academy of Science (No. KZCX2-108), LLQG Foundation (No. ZKLLQG200016), The Postdoctoral Foundation.

**Received date:** 2002-11-09; **Accepted date:** 2003-07-08

**Biography:** MA Li-Min Ph. D., main research field: environmental science and plant ecology. E-mail: ma\_limin@263.net

similar results. In this paper, cores were sampled from six *Pinus tabulaeformis* trees at Mountain Helan, which is located at 38°31'N 105°46'E at an elevation 2400~2500 m above sea level. The area is one of the driest regions in northwest China, where tree growth is primarily limited by precipitation. After crossdating to establish the age of each ring, they were carefully separated from the cores under a binocular microscope to avoid carbon contamination. For each of the 30 years, rings were pooled from all cores, providing whole-wood tissue samples as well as holocellulose and  $\alpha$ -cellulose extracted by standard methods. Each sample was combusted in a quartz tube with copper oxide and platinum wire at 800 C for two hours to produce CO<sub>2</sub> that was analyzed on a Finnigan-MAT 251 mass spectrometer. Separate whole-wood tissue, holocellulose and  $\alpha$ -cellulose  $\delta^{13}\text{C}$  chronologies were thus developed for the 30-year period. Our results show that although there is high correlation among wood components, the climate relationships with  $\delta^{13}\text{C}$  of tree-ring whole wood, holocellulose and  $\alpha$ -cellulose are not uniformly strong. The strongest climate relationships involve  $\alpha$ -cellulose, with  $\delta^{13}\text{C}$  positively correlated with the average temperature from June to August ( $r=0.427$ ,  $P<0.05$ ) and negatively correlated with the precipitation from February to July ( $r=-0.514$ ,  $P<0.01$ ). The correlation coefficient for holocellulose with average June to August temperature is 0.327, and it is  $-0.481$  with February to July precipitation. The same correlations for whole-wood tissue are  $-0.249$  and  $0.247$ , respectively. Additionally, the  $\alpha$ -cellulose  $\delta^{13}\text{C}$  is negatively correlated with tree-ring width ( $r=-0.545$ ,  $P<0.01$ ). These results suggest there is greater potential for climate reconstruction at this site from  $\delta^{13}\text{C}$  of tree-ring  $\alpha$ -cellulose than from holocellulose and whole-wood tissue. Perhaps the greater stability of  $\delta^{13}\text{C}$  in tree-ring  $\alpha$ -cellulose contribute to its enhanced usefulness for studying past environmental change.

**Key words:** tree rings; environment change; stable-carbon isotopes; paleoclimate; cellulose

文章编号:1000-0933(2003)12-2607-07 中图分类号:X171.1 文献标识码:A

植物通过光合作用固定大气中的二氧化碳,使其中的碳原子被结合进入树木的有机组织,这一复杂的过程产生了碳同位素的分馏。在这一过程中,影响碳同位素分馏的因素有遗传基因、光的强度、二氧化碳的浓度、温度、湿度、氧气的浓度等<sup>[1,2]</sup>。这为通过树木年轮中稳定碳同位素的含量来研究过去环境变化提供了科学的里弄依据。因此,植物中碳稳定同位素的研究已被广泛的应用于植物生理、生态环境及全球环境变化等领域<sup>[3~5]</sup>。树轮稳定碳同位素的研究结合树木年轮能够提供分辨到年甚至季节的年代学标志的优势,在研究过去环境变化<sup>[6~14]</sup>及全球碳循环方面<sup>[15~18]</sup>具有重要意义。二氧化碳从大气进入植物体被固定的过程中在羟化酶的作用下经羟化、还原等阶段,以糖的形式在植物体内运输,最终以不同的成分形成植物的细胞和组织而储存在植物中<sup>[19]</sup>。在植物的生长过程中,这些产物又进一步和植物体内已经生成的物质进行物质、能量的交换,形成其它新的有机物储存在植物体内。这一过程对碳同位素的分馏是如何影响的?本文对比贺兰山油松树轮中全木、综纤维素、 $\alpha$ -纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  值及其和周围环境的关系的变化,来探讨树木生长过程中引起其不同成分的同位素差别的原因,以及它们对环境变化的响应。为该领域进一步研究提供科学的依据。

## 1 材料和方法

研究所用树轮同位素样品取自于贺兰山西坡的腰坝沟,位于内蒙古阿拉善左旗境内(MHL04, 38°31' N, 105°46'E),海拔高度 2400~2500m。取样点地势险峻,地势高低起伏相差较大,地势较开阔。样品取自山坡上的次生天然林中,油松(*Pinus tabulaeformis*)为主要树种,参杂生长有青海云杉(*Picea crassifolia*)和山杨(*Populus davidiana*)等。采样点森林郁闭度较小,地上植被较少,坡度 30~60°,样本多来自土壤贫瘠、甚至生长在岩石缝隙中的孤树,采样树中为油松(*Pinus tabulaeformis*)。采样点地势险要、偏僻,树木生长几乎不受人类活动影响。

按国际树轮数据库标准,采取现生树 17 棵(每棵树取 2 个芯,用于同位素研究的样本取 3 个芯),将样

品风干、打磨,进行交叉定年,建立树轮年表<sup>[12,19]</sup>。选取其中的 6 棵树的 6 个芯,对照已建立的年表,在没有碳污染的环境中,用不锈钢刀在显微镜下逐轮剥离。将相同年份的样品合并为一个样,60℃下干燥 24h,然后粉碎,过 60 目筛,用于下一步研究。每个样品分取四分之一,用于全木的同位素测定。

综纤维素提取过程<sup>[20,21]</sup>为按以下步骤完成:(1)抽提:在 70℃水浴中,将取 0.5g 粉碎的样品放入锥形瓶中用苯:乙醇(2:1)的混合溶液中抽提 4h,去掉提取液,样品风干备用;(2)将所得样品在丙酮中浸泡 45min,去掉溶液,样品风干备用;(3)将所得样品在 70℃水浴中用石油醚(沸点 120℃)抽提 4h,去掉溶液,样品风干;(4)加乙醇浸泡 1h,去掉溶液,样品风干;(5)氯化:加入蒸馏水,用醋酸将溶液 pH 值保持在 4.5,分多次加入亚氯酸钠(NaClO<sub>2</sub>),放入 70℃水浴中加热,直到试样全部变白(6)在冰水中冷却,用砂芯漏斗抽滤,用丙酮洗涤后样品风干,这时所得样品既为综纤维素。

$\alpha$ -纤维素提取步骤<sup>[22]</sup>:(1)将综纤维素在 20℃下加入 17.5%的 NaOH,搅拌进行丝光化 45min,蒸馏水冲洗,砂芯漏斗抽滤。(2)加入 9.5%的 NaOH,分 3 次洗涤 2~3min;(3)用蒸馏水分次洗涤至不呈碱性(用酚酞检验);(4)用 2N 的醋酸浸泡 5min,用水洗至不呈酸性反应(用甲基橙检验)。在 60℃将样品烘干至恒重,所得即为  $\alpha$ -纤维素。

采用安瓶有机碳燃烧法<sup>[23]</sup>制备 CO<sub>2</sub>。所有样品在中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室 MAT-251 质谱仪上完成。实验系统误差小于 0.2‰。树轮纤维素碳同位素组成以  $\delta^{13}\text{CPDB}$  表示,定义为:

$$\delta^{13}\text{CPDB} = [({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{样品}} - ({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{标准}}] / ({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{标准}} \times 1000\text{‰}$$

## 2 结果和讨论

### 3.1 $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的 $\delta^{13}\text{C}$ 序列的对比

在树木生长的期间,树叶活细胞中的叶绿素从空气中吸收二氧化碳,与根部吸收的水分及矿物质在阳光下进行光合作用,合成各种物质,从而形成由各种不同形状和功能的细胞组成的树木木质部,每年形成的木质部就形成了树木的年轮。树木的木质部是由碳、氢、氧及氮等化学元素合成一系列复杂的细胞壁物质。干木材平均含碳 50%、氢 6.4%、氧 42.6%、氮 1%。其中,针叶树树木年轮中有机物组成物质分为以下几类:(1)多糖类:纤维素和半纤维素为主,约占 69%左右;(2)木素:多为芳香族化合物,约占 28%左右;(3)可提取物:以树脂、挥发性油类、单宁和色素等,约占 3%左右<sup>[24]</sup>;由于各种物质的形成过程不同,稳定性也不同,因此其  $\delta^{13}\text{C}$  值也就产生了差异。图 1 为  $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的  $\delta^{13}\text{C}$  序列的对比。表 1 为  $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的  $\delta^{13}\text{C}$  序列的统计结果。对比发现,全木的  $\delta^{13}\text{C}$  值最小,综纤维素  $\delta^{13}\text{C}$  值较大, $\alpha$ -纤维素  $\delta^{13}\text{C}$  值最大,其  $\delta^{13}\text{C}$  值的变化虽然不十分一致,但是有一定的相关性。其中  $\alpha$ -纤维素和综纤维素之间的相关系数达 0.547( $\alpha=0.01$ ),而全木和  $\alpha$ -纤维素及综纤维素之间的相关系数较低,分别为 0.126 和 0.056。

和纤维素相比,全木中含碳有机物里含有木素、树脂、挥发性油类、单宁和色素等成分,这些物质的结构不同,形成时的同位素分馏机制也不一样,从而造成  $\delta^{13}\text{C}$  值的差异。纤维素的简单分子式为 (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>, 其单元化学式为 C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>, 即由碳 44.44%、氢 5.17%、氧 43.39% 3 种元素组成的碳水化合物。纤维素是一种不溶于水的均一聚糖,由大量葡萄糖基所构成的直链大分子化合物,分子中的葡萄糖基与葡萄糖基之间按纤维素二糖连接链状分子。和综纤维素相比, $\alpha$ -纤维素其成分单一,结构和化学性质比较清楚、有固定的分子式、同位素组成比较稳定并且易于分离<sup>[25,26]</sup>,这可能是造成它们之间  $\delta^{13}\text{C}$  值差异的主要原因。

### 3.2 $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的 $\delta^{13}\text{C}$ 和气候的关系

#### 3.2.1 和温度的关系 为对比分析树轮 $\alpha$ -纤维素、

表 1 为  $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的  $\delta^{13}\text{C}$  序列的统计结果

Table 1 Statistic characters of tree-ring wood, cellulose and  $\alpha$ -Cellulose  $\delta^{13}\text{C}$  chronology

	最大值 (‰)	最小值 (‰)	平均值 (‰)	标准差 Standard deviation
	Maximun	Minimum	Mean	
全木 <sup>①</sup>	-22.547	-24.077	-23.4455	0.371777
综纤维素 <sup>②</sup>	-21.378	-23.202	-22.3912	0.463457
$\alpha$ 纤维素 <sup>③</sup>	-21.102	-22.856	-22.1714	0.465524

① Whole wood; ② Cellulose; ③  $\alpha$ -cellulose

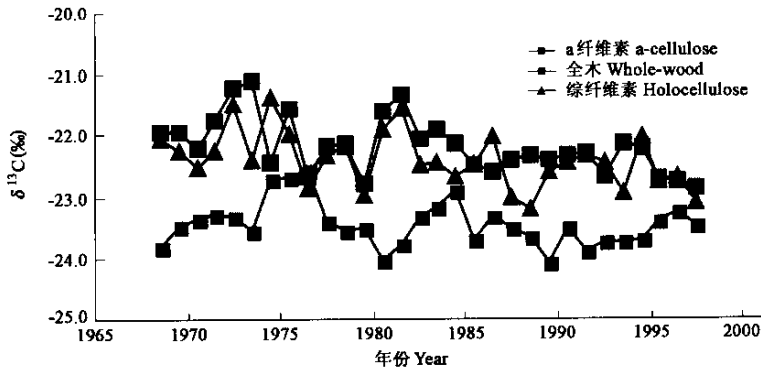


图1  $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的  $\delta^{13}\text{C}$  序列的对比

Fig. 1 The comparison of tree-ring whole wood, holocellulose and  $\alpha$ -Cellulose  $\delta^{13}\text{C}$  chronology

综纤维素及全木的  $\delta^{13}\text{C}$  值和温度的关系,将它们和环境多年实测月平均气温序列和全木的  $\delta^{13}\text{C}$  值序列进行了相关分析。经过比较,气象数据选用离取样点很近的(2 km)、且海拔高度和取样点位置相当的贺兰山高山气象站(38°46'N, 105°54'E, 海拔 2901m)的实测气象数据。该站位于贺兰山东坡近山顶,观测资料从 1961 年 7 月开始,至 1990 年 12 月,气象资料经均匀分布和突变检验可靠后,可以用以相关分析。

从和逐月平均气温的相关性分析比较(表 2),中发现, $\alpha$ -纤维素中的  $\delta^{13}\text{C}$  序列中含有较强的气候信息,和逐月平均气温的相关性已达到显著相关,可以根据这种关系对过去气候进行重建<sup>[12]</sup>。综纤维素中的  $\delta^{13}\text{C}$  序列和逐月平均气温的变化也有一定的相关性,而全木和气温的相关性就比较差。分析结果表明(表 1)树轮测量  $\delta^{13}\text{C}$  值序列和当年 6~8 月份的平均气温显著正相关,即平均气温越高,当年树轮  $\alpha$ -树轮纤维素中的  $\delta^{13}\text{C}$  值越高。相反,如当年 6~8 月份的平均气温越低,当年树轮  $\alpha$ -树轮纤维素中的  $\delta^{13}\text{C}$  值就越低。6~8 月份正是植物生长最快的季节,外界环境对植物中稳定碳同位素的影响最为明显。

表 2  $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的  $\delta^{13}\text{C}$  序列和月平均气温的相关性比较

Table 2 The comparison of correlation coefficient between tree-ring whole wood, holocellulose,  $\alpha$ -Cellulose  $\delta^{13}\text{C}$  chronology and monthly mean temperature

	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Jun. ~ Aug.
$\alpha$ -纤维素 $\alpha$ - Cellulose	0.365 *	-0.052	-0.060	0.252	0.122	0.439 *	0.427 *
综纤维素 Holocellulose	0.396	0.177	0.33	0.295	0.102	0.25	0.327
全木 Whole wood	-0.207	-0.051	-0.027	-0.36	-0.258	0.09	-0.249

\* \* 数据为相关系数置信度超过 99% Presents the value exceeding 99% confidence limit; \* 数据相关系数置信度超过 95% \* Presents the value exceeding 95% confidence limit

3.2.2 和降水的关系 水分是自然界中植物生长的重要制约因素,在贺兰山植物生长所需要的水分主要有大气降水供给。降雨量的多少会影响植物的生长和植物碳同位素的分馏,将实测贺兰山树轮  $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的  $\delta^{13}\text{C}$  序列和逐月总降水量进行相关分析,来寻找它们和降水之间的关系。降水量数据也选用离取样点很近的贺兰山高山气象站的实测气象数据。

分析结果表明(表 3)树轮  $\alpha$ -纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  值序列和当年 2~7 月份的总降水量显著负相关(置信度达 99%),综纤维素也和当年 2~7 月份的总降水量显著负相关(置信度达 95%)。全木和当年 1~7 月份的总降水量也有一定的关系,但规律性不如前两者明显。

在树轮  $\alpha$ -纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  序列和降水的关系中,如当年 2~7 月份的总降水量越大,当年树轮  $\alpha$ -树轮纤维素中的  $\delta^{13}\text{C}$  值就越低,相反,如当年 2~7 月份的总降水量越少,当年树轮  $\alpha$ -树轮纤维素中的  $\delta^{13}\text{C}$  值就越高。其主要原因可能是贺兰山的处西北干旱地区,水分成为植物生长的限制性因子,特别是和 2~7 月份的

降水相关系数可达 0.514。在我国北方干旱区, 2~7 月份正是树木的生长期, 降水量的大小直接影响植物的新陈代谢强度, 会引起植物固碳能力的不同, 从而影响了植物纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  的值。

表 3  $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的  $\delta^{13}\text{C}$  序列和月总降水量的相关性比较

Table 3 The comparison of correlation coefficient between tree-ring whole wood, holocellulose,  $\alpha$ -Cellulose  $\delta^{13}\text{C}$  chronology and monthly precipitation

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Feb. ~ Jul.
$\alpha$ -纤维素 $\alpha$ -Cellulose	0.004	-0.299	-0.075	-0.098	-0.196	-0.441*	-0.306	-0.011	-0.514**
综纤维素 Holocellulose	-0.068	-0.421*	-0.017	-0.152	-0.448*	-0.376	-0.091	-0.093	-0.481*
全木 Whole wood	-0.097	-0.146	-0.217	-0.072	0.198	0.161	0.248	0.128	0.247

\*\* 数据为相关系数置信度超过 99% Presents the value exceeding 99% confidence limit; \* 数据相关系数置信度超过 95% Presents the value exceeding 95% confidence limit

从对比树轮中  $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的  $\delta^{13}\text{C}$  序列和气候的关系中发现,  $\alpha$ -纤维素纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  的值序列中含有最强的气候信息。这是什么原因引起的呢? 如果涉及到植物生理及周围环境的关系, 是一个十分复杂, 目前尚不完全清楚的过程, 因为影响碳同位素分馏的环境因素有光的强度、二氧化碳的浓度<sup>[27]</sup>、温度、湿度、氧气的浓度等, 这些因素既是在很短的时间(如一天)内都会有很大的变化, 而这些因素对不同的植物又有不同的影响。如果从长的时间尺度(几十年到数百年), 可以将相对变化很大的环境因素在一定的范围内视为不变的, 将复杂的植物生理过程视为一个只考虑输入和输出的“黑箱”, 就可以得出一些相对简单的结论。植物将大气中的二氧化碳固定在植物体内时, 产生的碳同位素的分馏是一致的, 引起它们之间差异的可能是不同有机物在合成时产生了再次的分馏, 或者由于早期合成的物质和后来合成的物质在植物体内移动、混合、交换的结果。树轮中的  $\alpha$ -纤维素纤维素于由于它和合成时环境信息有强烈的响应, 说明它形成后就比较稳定, 植物以后的生长对其碳同位素组成影响较小, 是研究过去环境变化的良好载体。至于综纤维素, 和  $\alpha$ -纤维素相比所含的气候信息较少可能是  $\alpha$ -纤维素成分更单一, 结构较稳定的关系。

### 2.3 $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的 $\delta^{13}\text{C}$ 和植物生长量的关系

植物的生长量大小就是植物固碳能力大小, 植物固碳能力的大小也会直接影响固碳过程中碳同位素的分馏。为研究树轮中各成分  $\delta^{13}\text{C}$  和植物固碳量的关系, 将过去 30a 树轮中  $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的  $\delta^{13}\text{C}$  序列和植物年生长量进行相关分析(表 4), 其中, 年生长量可以用树轮宽度年表<sup>[20]</sup>来代替。

分析发现树轮  $\alpha$ -纤维素和树轮宽度序列呈明显负相关(置信度达 99%), 即树轮  $\alpha$ -纤维素的  $\delta^{13}\text{C}$  越低, 其树轮宽度就越宽, 树木的生长量就越大。综纤维素中的  $\delta^{13}\text{C}$ , 也和植物的生长量负相关, 尚未达到显著相关的程度。全木中  $\delta^{13}\text{C}$  和植物生长量的关系则不太明显。大气中的二氧化碳中  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $-7.87\text{‰}$ <sup>1)</sup>, 在贺兰山油松树轮  $\alpha$ -纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $-22.17\text{‰}$ (1968~1997 年平均值), 当外界环境比较适宜时, 植物的生命活动较强, 光合作用和固碳能力就越强, 相应的形成了交负的树轮  $\alpha$ -纤维素值。树轮的宽度在树木的木质部形成后变化很小, 其中包含了

表 4  $\alpha$ -纤维素、综纤维素及全木的  $\delta^{13}\text{C}$  序列和树轮宽度的相关性比较

Table 4 The comparison of correlation coefficient between tree-ring whole wood, holocellulose,  $\alpha$ -Cellulose  $\delta^{13}\text{C}$  chronology and tree-ring width

	$\alpha$ -纤维素 $\alpha$ -Cellulose	综纤维素 Holocellulose	全木 Whole wood
树轮宽度指数 Index of tree-ring width	-0.545**	-0.336	0.133

\*\* 数据为相关系数置信度超过 99% Presents the value exceeding 99% confidence limit

植物生长时影响植物生长的各种外界环境信息<sup>[28]</sup>。树轮  $\alpha$ -纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  值序列和树木的宽度关系最密切,说明其中包含了树木当年生长时的环境信息,证明树轮  $\alpha$ -纤维素中碳在经历了光合作用的固碳过程中的同位素分馏后,就保持了相对稳定。而树轮中的其它成分则发生了碳稳定同位素的再次分馏,至于其中又发生了怎样的一个过程,需要进一步研究。

将过去近 200 年贺兰山树轮  $\alpha$ -纤维素的  $\delta^{13}\text{C}$  序列和树轮宽度对比(图 2),发现它们的相关系数达  $-0.19(\alpha=0.008, N=194)$ ,已达显著相关,说明树轮  $\alpha$ -纤维素的  $\delta^{13}\text{C}$  序列和树轮宽度之间的负相关关系已十分明显。

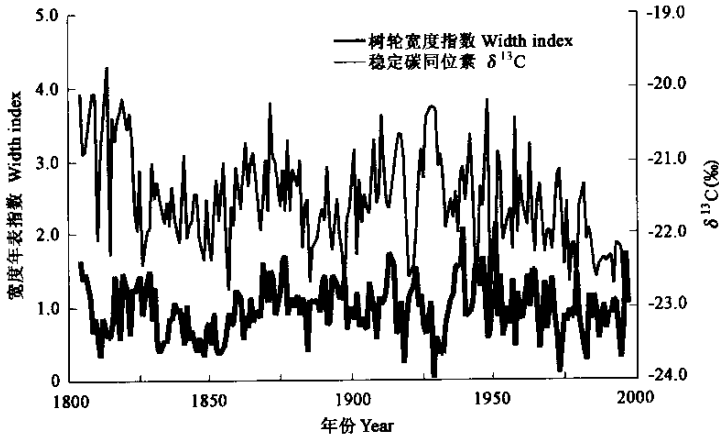


图 2 过去 200 年贺兰山树轮  $\alpha$ -纤维素的  $\delta^{13}\text{C}$  序列和树轮宽度对比

Fig. 2 The comparison between tree-ring whole wood, holocellulose,  $\alpha$ -Cellulose  $\delta^{13}\text{C}$  chronology and tree-ring width in past 200 years

#### 4 结论

(1)树轮中  $\alpha$ -纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  序列中含有最强的气候信息, $\delta^{13}\text{C}$  序列和周围大气平均气温和降雨量关系密切,其中和 6~8 月份的平均气温相关系数为 0.427( $\alpha=0.05$ );和 2~7 月份总降水量的相关系数为  $-0.514(\alpha=0.01)$ ,可以根据该结果对该地区过去气候变化进行重建。树轮中综纤维素中含有的气候信息比  $\alpha$ -纤维素稍弱,全木中  $\delta^{13}\text{C}$  和气候变化的关系不明显;树轮中  $\alpha$ -纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  是研究过去气候变化的良好载体。

(2)贺兰山油松树轮中全木、综纤维素、 $\alpha$ -纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  值在过去 30a 中变化并不一致,全木的  $\delta^{13}\text{C}$  值最负,综纤维素次之, $\alpha$ -纤维素中  $\delta^{13}\text{C}$  值最正。从各成分中  $\delta^{13}\text{C}$  值序列和气候之间的相关性及其和树木的生长量的关系可以发现,树轮  $\alpha$ -纤维素中碳在经历了光合作用的固碳过程中的同位素分馏后,就保持了相对稳定,而树轮中的其它成分则发生了碳稳定同位素的再次分馏。是树轮中光合作用产物在合成其他成分时产生了同位素的分馏,还是在后期的生长中又发生了物质交换,需要做进一步研究。

#### References:

- [1] Francey R J, Farquhar G D. An explanation of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  variations in tree rings. *Nature*, 1982, **297**:28~31.
- [2] Farquhar, Graham D, O'leary, et al. On relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon isotope dioxide concentration in leaves. *Aust. Jour. Plat. Physiol.*, 1982, **9**:121~137.
- [3] Korner C H, Farquhar G D, Wang S C. Carbon isotop discriminate by plants follows latitudinal and altitudinal trends. *Oecologia*, 1991, **88**:30~40.
- [4] Winter K, Holtum J A, Edwards G E, et al. Effect of low relative humidity on  $\delta^{13}\text{C}$  value in two  $\text{C}_3$  grasses and in *panicum milioides*, a  $\text{C}_3$ - $\text{C}_4$  intermediates species. *J. Experimental Botany*, 1982, **132**:88~91.
- [5] Michel E, Kingston J D, Marino B D. Carbon isotope evidence for emergence of  $\text{C}_4$  plants in the Neogene from Pakistan and Kenya. *Nature*, 1994, **367**:162~165.

- [6] Stuiver M, Bruk R L, Quay P D.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio in tree rings and the transfer of biospheric carbon to the atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 1984, **89**:11731~11784.
- [7] Freyer H D, Belacy N.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  records in northern hemispheric trees during the past 500 years—anthropogenic impact and climatic superposition. *Jour. Geophys. Res.*, 1983, **83**: 6844~6852.
- [8] Leavitt S W, And Long A. Seasonal stable-carbon isotope variability in tree rings possible paleoenvironmental signals. *Chemical Geology(Isotope Geoscience Science)*, 1991, **87**: 59~70.
- [9] Leavitt S W, And Long A. Drought indicated in carbon-13/carbon-12 ratio of southwestern tree rings. *Water Resources Bulletin*, 1989, **25**:341~347.
- [10] Lipp J, Trimbom P, Fritz P, et al. Stable isotopes in tree ring cellulose and climate change. *Tellus*, 1991, **43B**:322~330.
- [11] February E C and Stock W D. Deciling trend in the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio of atmospheric carbon dioxide from tree ring of South African Widdringtonia Cedarbergensis. *Quat. Res.*, 1999, **52**:229~236.
- [12] Liu YU, Ma Limin, Cau Qiufang, et al. Reconstruction of summer trmperature (June-August) at Mt. Helan, China, from tree-ring stable carbon isotope values since AD. 1890. *Science in China (Series D)*, 2002, **32**(8):667~674.
- [13] Qian Junlong, Lv Jun, Tu Qipu, et al. Reconstruction of climate at Mt. Tianmu, Zhejiang, from tree-ring cellose stable carbon isotope in past 160 years. *Science in China (Series D)*, 2001, **31**(4):333~341.
- [14] Li Zhenghua, Liu Rongmo, An Zhisheng. Seasonal change and its climatic sense of  $\delta^{13}\text{C}$  from tree ring. *Chinese Science Bulletin*, 1995, **40**(22):2064~2067.
- [15] Wilson A T, and Grinsted M J.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  in cellulose and lignin paleathermometers. *Nature*, 1977, **265**:133~135.
- [16] Farmer J G. Problem in intrepreting tree-ring  $^{13}\text{C}$  records. *Nature*, 1979, **297**:229~231.
- [17] Peng F H, Broecker W S, Freyer H D, et al. A deconvolution of tree ring based  $\delta^{13}\text{C}$  record J. *Geopgys. Res.*, 1983, **88**:3609~3620.
- [18] Stuiver M, Braziumas T F. Isotoppic and solar records in globe changes of the past, R. S. Bradly, ED, Snawmass, Colorado, 1989. 225~244.
- [19] Zhou Kui, Cheng Wanfang, Wu Sunru. *Plant physiology*. Beijing: Press of Chinese University of Broadcast and Television, 1988.
- [20] Leavitt S W, and Danzer S R. Method for batch precessing small wood samples to holocellulose for stable-carbon isotope analysis. *Analytical Chemistry*, 1993, **65**:87~89.
- [21] Institute of Paper Making, Ministry of Light Industry, Measurement of cellose content from paper making material, GB2677, 10~81, Baijing, Chinese Standard Press, 1981. 250~251.
- [22] Institute of Paper Making, Ministry of Light Industry, Measurement of  $\alpha$ -cellose content from chemistry paper pulp, GB744-79, Baijing, Chinese Standard Press, 1981. 252~253.
- [23] Liu Rongmo, Measurement of tree-ring width and stable carbom isotope in archaic fir from Xianyang. *Quarternary Research*, 1989, **1**:26~28.
- [24] Forest College of Beijing. *Study of Lignum*, Beijing, Press of High Education, 1990. 1~70.
- [25] Leavitt S W, and Danzer S R. Method for batch precessing small wood samples to holocellulose for stable-carbon isotope analysis. *Analytical Chemistry*, 1993, **65**:87~89.
- [26] Sheu D D and Chiu C H. Stable carbon isotopes and prehistoric dirts in the south-western Cape Province, South Africa, Cambrige Monographs in african archaeology 15 Bar International Series, Oxford, 1993. 293.
- [27] Hou Aimin, Peng Shaolin, Zhou Guoyi. Re-examining the reliability of tree-ring isotope rat as a historical  $\text{CO}_2$  proxy. *Chinese Science Bulletin*, 2001, **46**(1):138~142.
- [28] Fritts H C. *Tree rings and climate*. London. Academic Press Inc, 1976. 5~10.

#### 参考文献:

- [12] 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)气温. *中国科学 D 辑*, 2002, **32**(8):667~674.
- [13] 钱君龙, 吕军, 屠其璞, 等. 用树轮  $\alpha$ -纤维素  $\delta^{13}\text{C}$  重建天目山地区近 160 气候. *中国科学(D 辑)*, 2001, **31**(4):333~341.
- [14] 李正华, 刘荣谟, 安芷生, 等. 树木年轮  $\delta^{13}\text{C}$  季节性变化及其气候意义. *科学通报*, 1995, **40**(22):2064~2067.
- [19] 周燮, 陈婉芬, 吴颂如. *植物生理学*. 北京, 中央广播电视大学出版社, 1988.
- [21] 轻工业部造纸研究所. 造纸原料综纤维素含量测定. GB2677, 10~81. 中国标准出版社, 1981. 250~251.
- [22] 轻工业部造纸研究所. 化学纸浆甲种纤维素的测定. GB744~79. 北京: 中国标准出版社, 1981.
- [23] 刘荣谟, 等. 咸阳古冷杉树轮宽度及稳定同位素比值测定. *第四纪研究*, 1989, **1**:26~28.
- [24] 北京林学院. *树木学*. 北京: 高等教育出版社, 1990. 1~70.