

树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值方位分布及年际变化的普遍性研究 ——以中国东部亚热带地区为例

赵兴云^{1,2}, 王 建³, 商志远³, 钱君龙⁴

(1. 山东省水土保持与环境保育重点实验室, 山东 临沂 276000; 2. 临沂大学
资源环境学院, 山东 临沂 276000; 3. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210097;
4. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放实验室, 江苏 南京 210008)

摘要: 对采自中国东部亚热带地区的浙江天目山、江西庐山及江苏南京紫金山地区的金钱松(*Pseudolarix kaempferi*)、冷杉(*Abies fabryi*)及马尾松(*Pinus massoniana*)树轮, 分别测定它们不同方位10 a、20 a及3 a树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 序列, 探讨不同树种树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 存在的方位差异与年际变化普遍性。结果表明, 在中国东部亚热带地区, 树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位差异与年际变化存在普遍性。表现为3个地区、3个树种之间存在差异; 同一地区不同树种及相同树种不同个体之间也存在差异; 同一个体在相同年份存在方位差异及相同方位存在年际变化等; 表明研究树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 的方位差异与研究其年际变化同样具有重要价值与意义。

关键词: 树轮 $\delta^{13}\text{C}$; 方位变化; 年际变化; 普遍性

中图分类号: S718 **文章标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)02-0193-06

树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 随方位的变化国外已有部分研究^[1,2]。这些研究发现树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 随方位变化的差值较明显, 最大差值可达1%~4%。国内有关树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位变化的研究很少^[3,4], 但也发现树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 存在方位差异。王建等^[5]对取自天目山地区柳杉(*Cryptomeria fortunei*)树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 的方位差异及成因作过研究, 发现该区不同坡向柳杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 既存在明显的方位差异, 又存在明显的年际变化。东坡与南坡柳杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 各方位间的最大差异分别为2.02%和1.43%, 各方位内的年际最大差异分别为1.63%和1.1%。研究还发现, 该区树轮除个别方位间差异小于分析误差0.1%外, 其余各方位间的差异均超出了分析误差, 说明这种差异不是实验所致, 而是各方位间实际存在的差异。陈拓等^[6]研究发现祁连圆柏树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在方位变化, 方位间最大差异为0.8%, 且不同方位上树叶及树皮的 $\delta^{13}\text{C}$ 值也存在方位差异, 最大差异分别为0.81%和0.90%。何春霞等^[7]研究北京及广州5种阔叶树种树冠4方位叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 发现国槐(*Sophora japonica*)等阔叶树树冠不同方位叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值也存在方位差异。另

外, 王建等^[8]对合理的采样方位数进行了研究; 有学者^[9-12]对不同方位树轮样品的混合与前处理方法进行了研究。这些研究表明, 在树轮稳定碳同位素方位变化研究中, 同一树木个体, 其树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 存在方位变化及年际变化, 不同树木个体之间及其对应方位上, 树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值也存在明显变化。那么, 这种变化是否具有普遍性? 本文拟以中国东部亚热带地区为例, 对采自不同地区不同树种的树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位变化及年际变化作进一步分析和检验, 探讨这些变化是否存在普遍性以及变化的量级是否稳定一致, 这对利用树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 序列进行气候要素重建时确定合理的采样方位数有重要指导作用和参考价值。

1 材料与方法

本研究所用材料为取自天目山地区的金钱松(*Pseudolarix kaempferi*, 简称PK)园盘样1株(龙卷风吹倒), 编号为PK-01; 庐山冷杉(*Abies fabryi*, 简称AF)园盘样1株, 编号为AF-01; 南京紫金山马尾松(*Pinus massoniana*, 简称PM)树盘样8株(均为染松线虫病后被伐木), 编号分别为PM-01~PM-04,

收稿日期: 2011-04-01; 修订日期: 2011-07-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(41072139)、山东省自然科学基金项目(Y2008E15)、临沂大学博士启动基金项目(BS07014)资助。

作者简介: 赵兴云(1962-), 女, 山东沂源人, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为树木年轮与区域环境演变。E-mail: synzxy@sina.com

PM-07~PM-10。采样区均为亚热带温湿型季风气候区,区域生态环境优越,植被生长好,土壤以黄壤、棕黄壤为主。采样区内人类活动较少,树木生长受人为因素干扰小,树木生长所记录的环境信息能反映生长区内的自然环境条件的变化^[13-15]。

样品的采集过程与定年均按国际树轮数据库标准完成。其中,金钱松未经过完全定年,仅以分析的年轮数来表示(只有10 a数据,因为不用于年序列分析,不影响树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 的方位对比)。几种树轮样品基本信息如表1。树轮样品的雕刻方法与 $\delta^{13}\text{C}$ 的分析实验流程见文献[5, 16]。

表1 采集样品基本信息

Table 1 The basic information of the selected sections

| 采样区 | 树种 | 样品编号 | 采样点 (区)位置 | 海拔高度(m) | 坡向/坡度(°) | 样品雕取 年数(a) | 雕取方位 数(个) |
|----------|-----|----------------------------|--|---------|-----------------|---------------------|--------------|
| 天目山大树王附近 | 金钱松 | PK-01 | 30°20' 28" N 119°25' 55" E | 1095 | 南坡 / 15° | 10 (未定年, 以1~10表示顺序) | 7(缺WN方向) |
| 庐山植物研究所前 | 冷杉 | AF-01 | 29°35' N 115°59' E | 1400 | 南坡 / 0° | 20 (1977~1996年) | 8 |
| 南京紫金山 | 马尾松 | PM-01~PM-04 PM-07~PM-10 | 32°01' ~ 32°06' N, 118°25' ~ 118° 53' E | 400 | 东南坡-西南坡/ 10~25° | 3 (2000~2002年) | 8 |

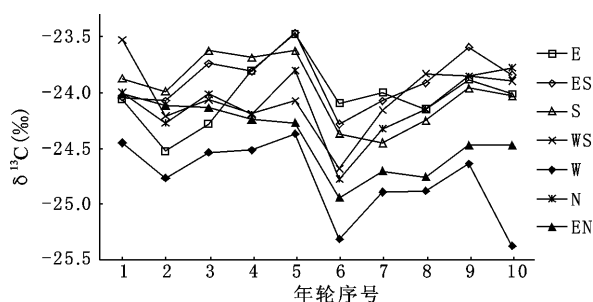


图1 天目山金钱松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 年序列变化

Fig. 1 The $\delta^{13}\text{C}$ annual series in tree ring of *Pseudolarix kaempferi* at Tianmu Mountain

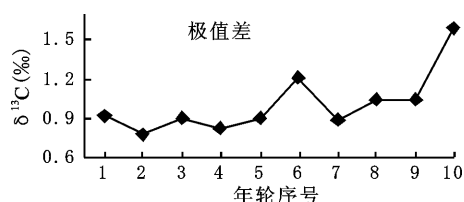


图2 天目山金钱松树轮各方位 $\delta^{13}\text{C}$ 值极差年变化
Fig. 2 The extreme difference annual change of the $\delta^{13}\text{C}$ in different azimuths tree ring of *Pseudolarix kaempferi* at Tianmu Mountain

2 结果分析

2.1 树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值方位变化及年际变化

1) 金钱松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值方位变化及年际变化。由图1可知,每一年各方位的 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在较明显的变化。年内各方位间的最大差异变化于0.78‰~1.59‰,10 a中有4 a极值差大于1‰,有5 a极值差在0.8‰~1‰间;极大值出现的方位较分散,除EN与W方位外,每个方位都有极大值出现,而极小全部出在W方位上(图2、图3)。

由统计知,金钱松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值每两个方位间的

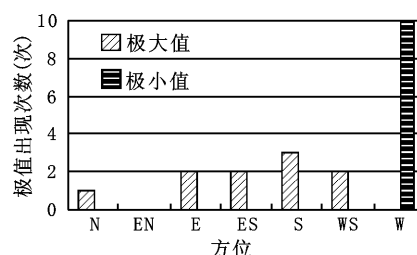


图3 天目山金钱松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 极值出现的方位分布

Fig. 3 The azimuth distribution of the tree ring $\delta^{13}\text{C}$ extreme value of *Pseudolarix kaempferi* at Tianmu Mountain

差异 $\leq 0.1\%$ 分析误差的占17.1%,在0.1‰~0.5‰之间的占46.7%,在0.5‰~1‰之间的占32.4%, $\geq 1\%$ 的占3.8%。其年际变化的最大差值为1.15‰,年际变化 $\geq 1\%$ 的比例占1.3%;差值变化于0.5‰~1‰之间的占22.2%。可见,金钱松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值在方位内的年际最大差异与方位间的最大差异处于同一量级。

2) 庐山冷杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值方位变化与年际变化。图4可知,除WN方位在1987~1992年 $\delta^{13}\text{C}$ 值出现明显下降外,各方位 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化均表现出基本一致的上升趋势。就年变化而言,E方位的年际变化差异最小,为1.69‰,WN方位的年际变化为

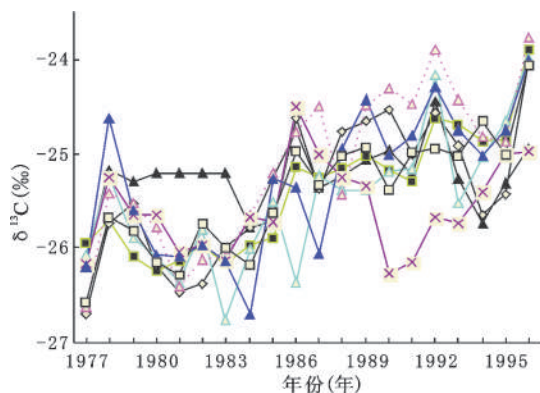
图4 庐山冷杉8方位 $\delta^{13}\text{C}$ 年序列

Fig. 4 The $\delta^{13}\text{C}$ annual series at eight azimuths of *Abiesfab ricraib* at Lushan Mountain

1.77%, 其它方位的年际变化均较大, 都超过2%, 其中W方位最大为2.84%。各方位 $\delta^{13}\text{C}$ 值年际间的最大差异如图5。

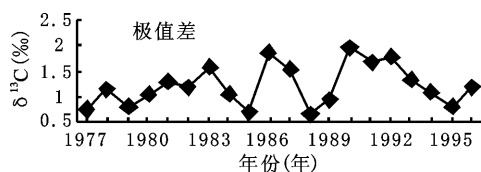
图5 庐山冷杉8方位 $\delta^{13}\text{C}$ 值年际间的最大差异

Fig. 5 The inter-annual maximum difference of the tree ring $\delta^{13}\text{C}$ at eight azimuths of *Abiesfab ricraib* at Lushan Mountain

不同年份各方位间 $\delta^{13}\text{C}$ 值的极值差也较大, 变化于0.67%~1.97%之间(图6)。极值出现的方位较为分散, 除EN方位没出现极小值外, 其余方位均有极大值与极小值出现。各方位出现极值的频率不同(图7)。各方位 $\delta^{13}\text{C}$ 的多年平均值, 其最大值出现在W方位, 其次为E方位和N方位, 最小平均值出现在WN方位, 其次为WS(图8)。

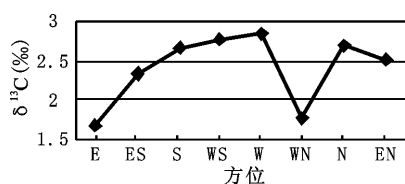
图6 庐山冷杉8方位间 $\delta^{13}\text{C}$ 值极差年变化

Fig. 6 The extreme difference annual change of the tree ring $\delta^{13}\text{C}$ at eight azimuths of *Abiesfab ricraib* at Lushan Mountain

由统计知, 庐山冷杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值每两个方位间的差异 $\leq 0.1\%$ 分析误差的占16.6%, 两方位间的差值 $< 0.5\%$ 的占65.2%, 而差值 $\geq 0.5\%$ 的占

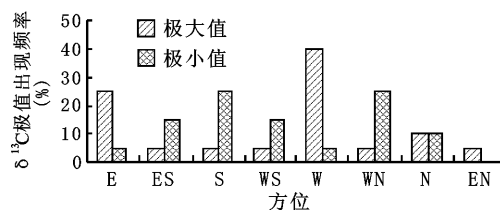
图7 庐山冷杉 $\delta^{13}\text{C}$ 极值方位分布频率统计

Fig. 7 The frequencies of the $\delta^{13}\text{C}$ extremum values appearing at azimuths of *Abiesfab ricraib* at Lushan Mountain

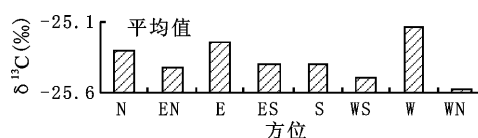
图8 庐山冷杉 $\delta^{13}\text{C}$ 值的方位平均值

Fig. 8 The average values of $\delta^{13}\text{C}$ annual series among azimuths of *Abiesfab ricraib* at Lushan Mountain

34.8%。由此看来, 每两个方位间的差异是存在的, 但多数方位间的差异未超过1%, 方位间的差异表现不明显。

3) 方差检验。为检验金钱松及冷杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值方位变化及各方位上的年际变化是否显著, 对各方位的 $\delta^{13}\text{C}$ 进行方差分析。

设 y_{ij} 为各方位历年的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, \bar{y}_i 为各方位的历年平均值, \bar{y} 为 $\delta^{13}\text{C}$ 总体平均值, i 代表方位序号, 对金钱松, $i=1, 2, \dots, 7$ (缺WN方位); 对冷杉, $i=1, 2, \dots, 8$ 。 j 代表年序号, 对金钱松, $j=1, 2, \dots, 10$; 对冷杉, $j=1, 2, \dots, 20$ 。 SS_e 代表 $\delta^{13}\text{C}$ 各方位内部离差平方和(即方位内部的变异), SS_i 代表 $\delta^{13}\text{C}$ 各方位的平均值对总体平均值的离差平方和(即各方位间的变异), SS_T 代表 $\delta^{13}\text{C}$ 各年内部离差平方和(即总变异)^[5]。金钱松计算公式为:

$$SS_e = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{10} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2; \quad SS_i = 10 \sum_{i=1}^7 (\bar{y}_i - \bar{y})^2;$$

$$SS_T = \sum_{ij=1}^{70} (y_{ij} - \bar{y})^2; \quad F_1 = (SS_e/6)/(SS_i/63),$$

$$F_2 = (SS_T/9)/(SS_e/60) \quad (1)$$

冷杉:

$$SS_e = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{20} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2; \quad SS_i = 20 \sum_{i=1}^8 (\bar{y}_i - \bar{y})^2;$$

$$SS_T = \sum_{ij=1}^{160} (y_{ij} - \bar{y})^2; \quad F_1 = (SS_e/7)/(SS_i/152),$$

$$F_2 = (SS_T/19)/(SS_e/140) \quad (2)$$

表2 金钱松(PK-01)与冷杉(AF-01)树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位分布的方差分析特征Table 2 The characteristics of azimuth distribution of $\delta^{13}\text{C}$ in PK-01 and AF-01 tree rings by variance analysis

| 变异来源 | | 自由度 | 方差 | 均方 | 检验值 F | 显著值 |
|-------|-------|------|--------|-------|---------|------------|
| | | DF | SS | MS | | $F_{0.01}$ |
| PK-01 | 方位间变异 | 6 | 5.73 | 0.955 | 10.66 | 3.12 |
| | 方位内变异 | 63 | 5.649 | 0.09 | 13.43 | 2.72 |
| | 总变异 | 69 | 11.382 | 0.165 | | |
| AF-01 | 方位间变异 | 7 | 2.499 | 0.357 | 0.94 | 2.76 |
| | 方位内变异 | 152 | 66.701 | 0.439 | 7.69 | 2.0 |
| | 总变异 | 159 | 69.2 | 0.435 | | |

方差分析结果见表2。

通过方差分析:对金钱松, $F_1=10.66 > F_{0.01}=3.12$, $F_2=13.43 > F_{0.01}=2.72$, 都超过了信度为0.01的显著水平,表明金钱松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值方位变化及年际变化的差异均是显著的;对冷杉, $F_1=0.94 < F_{0.01}=2.76$,方位间的差异没有通过0.01的显著性水平检验,说明冷杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位间的变化不显著,而 $F_2=7.69 > F_{0.01}=2.0$,冷杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值在方位内的年际变化差异是显著的。

2.2 树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值方位变化的普遍性

由方差分析知,冷杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 随方位变化不显著,但其方位内的年际变化是显著的,金钱松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 的方位变化及方位内的年际变化均很显著,那么,树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值的方位变化及年变化是否存在普遍性,以南京紫金山马尾松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 的方位变化来进一步验证。

南京紫金山8棵马尾松树轮3 a各8个方位的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(图9)。由图知,8棵马尾松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化是存在的。表现在以下几个方面:

1) 8棵马尾松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 总体平均值各不相同。其中,1~7号马尾松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值总体平均值较高,分别为-22.77‰, -21.97‰, -22.10‰, -22.22‰和-21.46‰, 8~9号的总体平均值较低,分别为-24.42‰, -24.01‰和-25.73‰。

2) 8棵树轮各方位间的 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在差异。8棵树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 各方位间的最大差异分别为1.68‰, 1.35‰, 1.39‰, 1.07‰, 1.81‰, 1.45‰, 2.05‰和0.91‰。

3) 8棵树轮各方位内的年际变化差异明显。各方位内年际变化的最大差异分别为1.98‰, 1.60‰, 1.58‰, 1.76‰, 2.09‰, 1.53‰, 1.99‰和0.69‰。

4) 8棵马尾松树相同年份相同方位的 $\delta^{13}\text{C}$ 值

差异明显且变化幅度各不相同。这8棵马尾松树,相同方位的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,2000年变化于2.87‰~3.74‰之间,2001年变化于3.62‰~4.98‰之间,2002年变化于4.07‰~5.07‰之间。

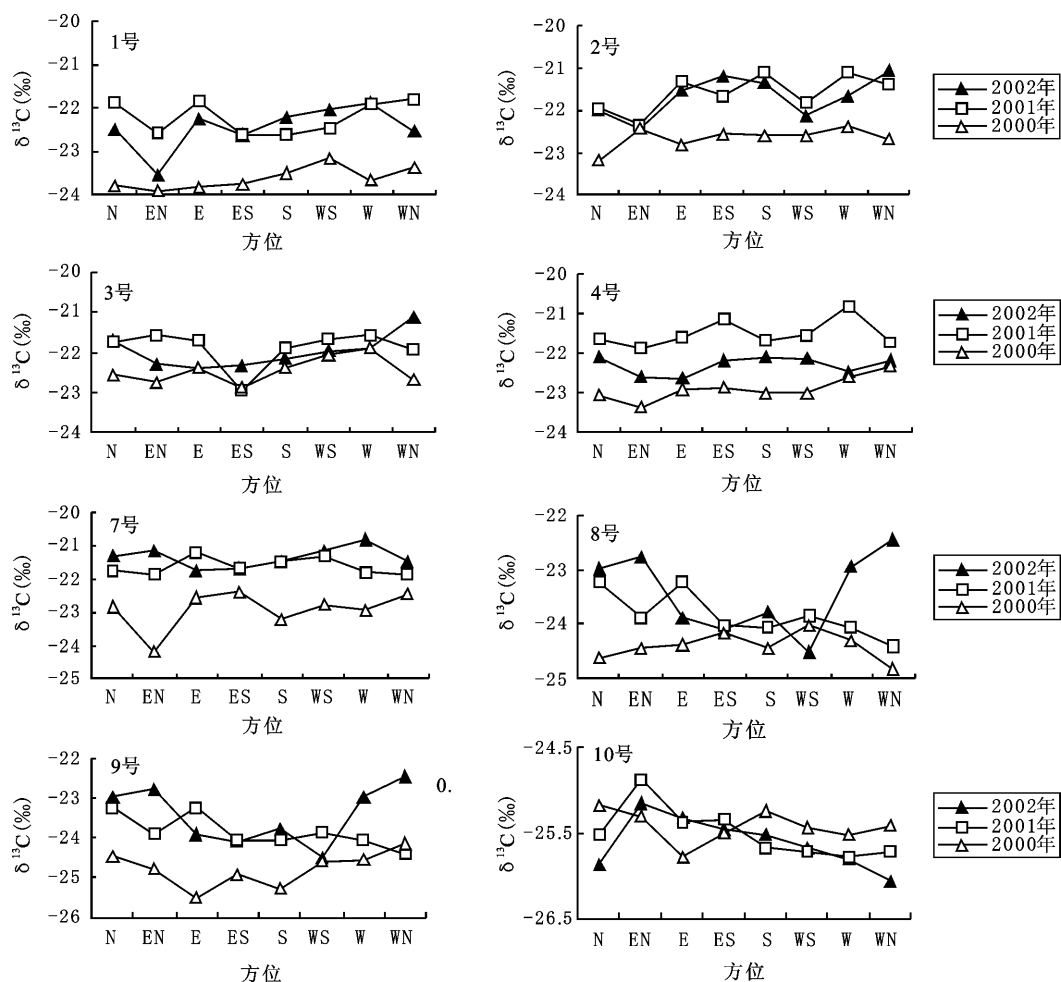
5) 同一株树不同年份 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异明显。如1~7号马尾松2000年各方位的值多数低于2001和2002年,8和9号马尾松2000~2001年 $\delta^{13}\text{C}$ 值较低,2002年 $\delta^{13}\text{C}$ 值有所增高。

通过8棵马尾松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 的分析知,树轮不同方位上 $\delta^{13}\text{C}$ 值的差异是存在的,方位变化存在普遍性与稳定性,且方位变化的极值与年际变化的极值相当。因仅有3 a样品序列,故无法对马尾松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 的方位变化与年际变化的显著性进行方差检验,这有待于今后继续研究。

3 结论与讨论

分析表明,树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 在不同地区、不同树种之间存在方位差异与年际变化;同一地区不同树种及相同树种的不同个体之间也存在差异;同一个体在相同年份存在方位变化及相同方位存在年际变化等。金钱松树轮各方位间的极值之差变化于0.78‰~1.59‰之间,冷杉树轮各方位 $\delta^{13}\text{C}$ 极值之差变化于0.67‰~1.97‰之间。金钱松及冷杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值各方位间最大差异与已有的国内外研究结果相吻合^[1-7]。这些研究表明,树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值方位变化的普遍性是存在的。南京紫金山马尾松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值也存在方位变化及年际变化,但差异因个体而各异,特别是相邻两方位间的差异较小。

冷杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在方位差异,但方位变化未通过0.01的显著性检验,这可能与冷杉样本采样地点及其生长环境有关。因这一冷杉树盘采自庐山植物研究所前,其立地处地势平坦,树木生长的周围环境差别较小,各方位碳同位素分馏差异较

图9 南京紫金山8棵马尾松树轮2000~2002年 $\delta^{13}\text{C}$ 值方位变化Fig. 9 The azimuth changes of the tree ring $\delta^{13}\text{C}$ from 2000 to 2002 of eight *Pinus massoniana* at Nanjing Purple Mountain

小,因而,导致树轮各方位 $\delta^{13}\text{C}$ 的差异较小。当然,这种差异,是否与冷杉树种有关,还有待于进一步研究。

金钱松树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值在W方位上的变化趋势与其它方位上的变化趋势是一致的,但每年的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均低于其它方位的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值的方位差异主要是树木立地条件及树冠周围光、热条件的不同影响所致^[5]。对一株树而言,树冠周围大气 CO_2 浓度变化很小,对树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值方位变化的影响不大。树冠不同方位受光强度的差异影响树叶 $\delta^{13}\text{C}$ 值方位变化,进而导致树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值出现方位差异。在适宜的光照条件下,光照强度弱的方位,光合作用低,树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 偏高,光照强的方位,光合作用强, $\delta^{13}\text{C}$ 偏低^[5,17,18]。树冠周围的温度变化与太阳辐射及光强变化有一致性。天目山地区地处亚热带,每年7~8月为副高控制,温度高,光照强。正午前后太阳辐射最强,温度高,且气温的升高有滞后

性,正午前后,向光的叶片在强光照与高温下,光合速率会下降,导致叶片内 CO_2 浓度相对升高,叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值下降^[5]。天目山金钱松W方位树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏低可能与此有关,天目山的柳杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值在南、西南等方位也偏低,可能也与这些方位叶片光合作用受抑制所致^[5]。

本研究所用样品仅限于中国东部亚热带地区的3个采样区(点)的3种树种,研究结果显示,不同地区不同树种的树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在较明显的方位差异,对于干旱半干旱区及高纬高寒区等气候限制因子地区,不同树种的树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值是否存在方位变化及其差异还有待于更进一步的研究。

参考文献:

- [1] Nguyen-Queyrens A, Ferhi A, Loustau D, et al. Within-ring $\delta^{13}\text{C}$ spatial variability and interannual variations in wood cellulose of two contrasting provenances of *Pinus pinaster*. Canada[J].

- Journal of Forest Research, 1998, **28**: 766-773.
- [2] Panek J A, Waring R H. Carbon isotope variation in Douglas-fir foliage: improving the climate relationship[J]. Tree Physiology, 1995, **15**(10): 657-663.
- [3] 陈宝君, 钱君龙, 濮培民, 等. 树轮 α -纤维素 $\delta^{13}\text{C}$ 角分布及其气候含义[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, **26**(1): 14-18.
- [4] 邓自旺, 钱君龙, 屠其璞, 等. 环境因素对天目山柳杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位分布的影响[J]. 植物生态学报, 2003, **27**(1): 93-98.
- [5] 王 建, 赵兴云, 钱君龙. 天目山柳杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位变化及成因探讨[J]. 地理研究, 2006, **25**(2): 242-254.
- [6] 陈 拓, 秦大河, 何元庆, 等. 祁连圆柏中稳定碳同位素分布特征[J]. 冰川冻土, 2002, **24**(5): 570-573.
- [7] 何春霞, 李吉跃, 张燕香, 等. 5种绿化树种叶片比重、光合色素含量和 $\delta^{13}\text{C}$ 的开度与方位差异[J]. 植物生态学报, 2010, **34**(2): 134-143.
- [8] 王 建, 钱君龙, 梁 中, 等. 树轮稳定碳同位素分析的采样方法[J]. 生态学报, 2008, **28**(12): 6070-6078.
- [9] Dodd J P, Patterson W P, Holmden C, et al. Robotic micromilling of tree rings: A new tool for obtaining subseasonal environmental isotope records[J]. Chemical Geology, 2008, **252**(1-2): 21-30.
- [10] Borella S, Leuenberger M, Saurer M, et al. Reducing uncertainties in $\delta^{13}\text{C}$ analysis of tree rings: Pooling, milling and cellulose extraction[J]. Journal of Geophysical Research, 1998, **103**(D16): 19519-19526.
- [11] Boettger T, Frieddrich M. A new serial pooling method of shifted tree ring blocks to construct millennia long tree ring isotope chronologies with annual resolution[J]. Isotopes in Environmental and Health Studies, 2009, **45**(1): 68-80.
- [12] 刘晓宏, 刘 禹, 徐国保, 等. 树木年轮稳定同位素分析样品前处理方法探讨[J]. 冰川冻土, 2010, **32**(6): 1242-1250.
- [13] 伍国凤, 郝志新, 郑景云. 1736年以来南京逐季降水量的重建及变化特征[J]. 地理科学, 2010, **30**(6): 936-942.
- [14] 侯西勇, 应兰兰, 高 猛, 等. 1998~2008年中国东部沿海植被覆盖变化特征[J]. 地理科学, 2010, **30**(5): 735-741.
- [15] 高 蓉, 郭忠祥, 陈少勇, 等. 近46年来中国东部季风区夏季气温变化特征分析[J]. 地理科学, 2009, **29**(2): 255-261.
- [16] 赵兴云, 王 建, 商志远, 等. 天目山柳杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 序列所反映的植物水分利用率对大气 CO_2 浓度变化的生理响应[J]. 地理科学, 2008, **28**(5): 698-702.
- [17] 叶 茂, 徐海量, 龚君君, 等. 不同胸径胡杨径向生长的合理生态水位研究[J]. 地理科学, 2011, **31**(2): 172-176.
- [18] 张同文, 王丽丽, 袁玉江, 等. 利用树轮宽度资料重建天山中段南坡巴仑台地区过去645年来的降水变化[J]. 地理科学, 2011, **31**(2): 251-256.

The Universality of Azimuth Distribution and Inter-annual Variation of $\delta^{13}\text{C}$ in Tree Rings —A Case Study in Eastern Subtropics Areas of China

ZHAO Xing-yun^{1,2}, WANG Jian³, SHANG Zhi-yuan³, QIAN Jun-long⁴

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Water and Soil Conservation and Environmental Protection, Linyi University, Linyi, Shandong 276000, China; 2. College of Resources and Environment, Linyi University, Linyi, Shandong 276000, China; 3. College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210097, China; 4. Lake Sediment and Environmental Opening Laboratory of Nanjing Geography and Limnology Institute, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

Abstract: After measuring respectively the $\delta^{13}\text{C}$ annual series in different azimuths based on cross-dated tree ring age for ten years, twenty years and three years of *Pseudolarix kaempferi* (PK) tree discs collected from Tiamu Mountain, Zhejiang Province, *Abiesfab ricraib* (AF) tree discs collected from Lusan Mountain, Jiangxi Province, and *Pinus massoniana* (PM) tree discs collected from Purple Mountain, Jiangsu Province, the universality of the tree ring $\delta^{13}\text{C}$ azimuth change and inter-annual variability in different species were discussed. The research result shows that the azimuth change and inter-annual variability of the $\delta^{13}\text{C}$ in tree ring exists universally. The $\delta^{13}\text{C}$ is different in different areas and in different species, there are differences in different species in the same region and in different individuals in the same species, the $\delta^{13}\text{C}$ of the same individual has azimuth change in the same year and inter-annual variability in the same azimuth, etc.

Key words: tree ring $\delta^{13}\text{C}$; azimuth change; inter-annual variability; universality