

喜马拉雅冷杉和林芝云杉年轮稳定碳同位素气候意义比较

陈克龙¹, 刘晓宏²

(1. 青海师范大学地理与资源环境系, 青海 西宁 810008;
2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:对采自西藏东南部的喜马拉雅冷杉和林芝云杉交叉定年后,进行了过去100年的年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 分析。结果表明:冷杉和云杉年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 序列记录了大气 CO_2 浓度升高引起大气 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 下降的全球性趋势,但两者的响应程度不同。冷杉和云杉年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 高频变化包含共同的气候环境变化信息,但在细节变化上存在差异。在对气候变化的响应上,两者记录的信息可以进行相互比较,以便利用不同地区不同树种的 $\delta^{13}\text{C}$ 进行大区域气候重建。

关键词:喜马拉雅冷杉;林芝云杉;年轮 $\delta^{13}\text{C}$

中图分类号:X173 **文献标识码:**A **文章编号:**1008—858X(2002)02—0029—06

树木年轮稳定同位素作为古气候恢复的替代性指标研究取得了重大的成果^[1-6]。年轮同位素气候学的重要目标是重建特定区域的气候信息。前人研究主要利用年轮稳定碳同位素进行不同区域气候重建。年轮稳定同位素研究遇到如何从不同树木(树种)的年轮中同位素序列提取所包含的共同信息,如单棵树不同方位的同位素比率的变化^[7]和同一小气候区域不同树种间的同位素比率变化^[8,9]。我们在具有独特气候条件的青藏高原东南部研究了喜马拉雅冷杉和林芝云杉稳定碳同位素比率的变化,揭示不同树种稳定碳同位素对气候响应的共性和差异。

1 材料和方法

1.1 样品采集

样品由中国科学院寒区旱区环境与工程研

究所和中国科学院地理科学与资源研究所于2000年9月联合采自西藏东南部林芝地区的南伊林场(29°8.8'N, 94°11.2'E, 海拔3450米),树种为喜马拉雅冷杉(*Abies spectabilis*)。另一样品采自该地区岗嘎林场(29°21.8'N, 94°18.6'E, 海拔3550米),树种为林芝云杉(*Picea likiangensis* var. *linzhiensis*)。样品采集严格按国际树木年轮数据库的标准进行,同时采集树芯样本和树盘样本。所有样本在中国科学院地理科学与资源研究所用标准方法定年^[10],并用Cofecha计算程序进行质量控制,杜绝因定年而引起的错误和失误。

1.2 样品剥离和 α -纤维素的提取

选择经标准定年的喜马拉雅冷杉和林芝云杉圆盘样品,打磨后从相同方向用手术刀进行逐年年轮样品剥离(1990—1999年)。样品粉碎过60目筛。年轮样品纤维素提取和稳定碳同位素分析过程依文献^[1,2,4]进行。整个流程误差

小于 0.05‰。

2 结果分析与讨论

2.1 年轮稳定碳同位素序列分析

图 1 为过去 100 年冷杉和云杉树轮 α-纤维素 δ¹³C 序列。序列统计特征见表 1。表 1 中一阶自相关十分显著,分别为 0.389 和 0.361,表明 δ¹³C 序列中存在较强的同位素滞后效应,但是当年的气候环境对 δ¹³C 的影响仍占主导地位。

从图 1 中可以看出,云杉年轮 δ¹³C 比冷杉年轮 δ¹³C 高约 0.74‰,自 1950 年以后,冷杉和云杉年轮 δ¹³C 均表现下降趋势,但这一下降趋势在云杉 (−0.007‰/a) 中明显小于冷杉 (−0.025‰/a)(图 2)。导致这种差异出现的原

因可能是控制同位素生化分馏的气候和环境因子对同位素分馏因树种不同而有所差异^[11]。与全球其它地区树轮 δ¹³C 下降趋势相比较^[2,12–14],可以认为西藏东南部云杉和冷杉 δ¹³C 序列对局地气候因素和全球大气 CO₂ 浓度升高均作出了显著相应。

将冷杉和云杉 δ¹³C 序列进行标准化处理,见图 1(b)。与图 1(a)相比,序列间的差异明显减小,5 年滑动曲线基本上重合,说明两序列对气候要素的响应上存在共性。从冷杉和云杉 δ¹³C 序列的相关分析(表 2)也可以反应出它们对气候变化响应的一致。

冷杉和云杉 δ¹³C 序列功率谱分析均检测到 11.0~13.2a 的显著周期(P<0.01)(图 3),与太阳黑子 11 年的活动周期十分接近,反映了在青藏高原上太阳活动是气候变化重要的驱动因子之一^[15]。

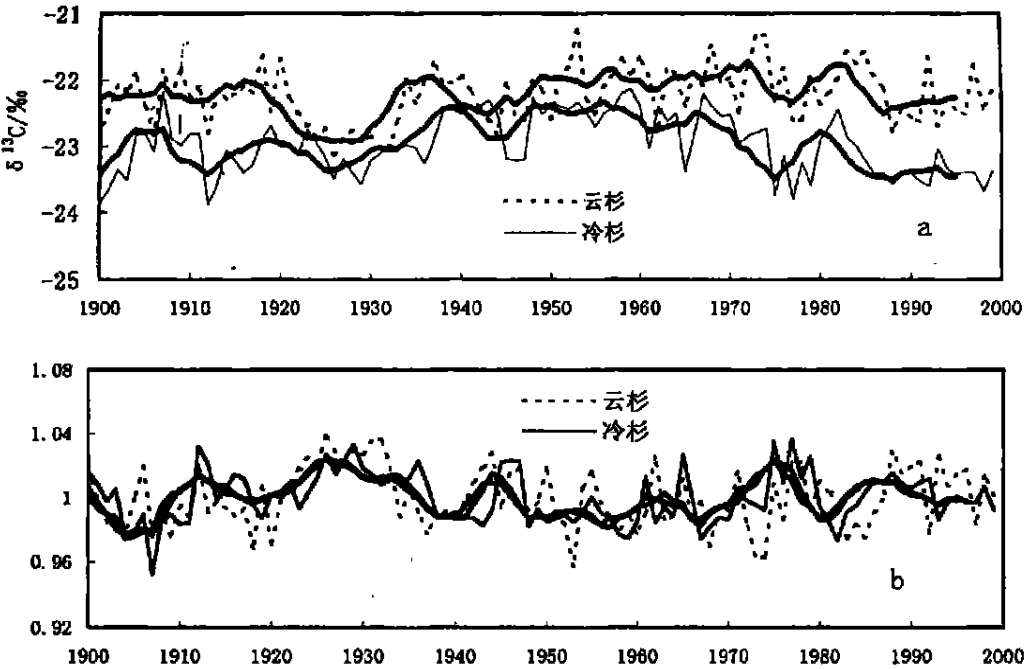


图 1 喜马拉雅冷杉和林芝云杉稳定碳同位素序列

Fig.1 Stable carbon isotope series of *Abies squetabilis* and *Likiangensis* var. *Linzhiensis*
(a 原始序列,b 标准化序列。粗线为 5 年滑动平均)

2.2 年轮 δ¹³C 序列与气候要素相关分析比较

我们选择了距离样点最近的林芝气象站 (29°41'N, 94°35'E, 海拔 3000 米) 的气象数据与

δ¹³C 序列进行分析(见表 3)。
分析结果表明,降水量和相对湿度对年轮 δ¹³C 影响明显大于温度对 δ¹³C 的影响。降水量和相对湿度的影响主要集中在生长初期的 4—

5 月和夏末及秋季。对于比较喜欢温凉和湿润气候的云杉和冷杉类树木^[16]来说,4—5 月生长初期需要大量的水分供应,但这时的降水量并不十分充裕,使得降水和湿度对年轮生长造成影响;而在秋季,主要的降水季节已经过去,但是温度并未明显降低,树木仍在生长^[17],需要大量水分供应和较高的空气湿度,所以秋季的降水和湿度成为树木继续生长的限制因子。大量研究结果也表明,植物生长限制因子与植物有机物中的同位素分馏有关^[18,19]。当气候因子对树木生长起限制作用时,气候信号将通过生理生化反应转移到 $\delta^{13}\text{C}$ 序列中^[20],而且年轮晚材 $\delta^{13}\text{C}$ 与当年气候要素的相关密切,早材 $\delta^{13}\text{C}$ 与上一年的气候要素关系密切^[21]。所以冷杉和云杉 $\delta^{13}\text{C}$ 序列中包含有秋季的降水和相对湿度变化信息。温度对年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 影响体现在开始生长时(2—3 月)和 10—11 月,且主要体现为滞后效应。西藏东南部的林芝地区属于亚热带温暖高寒湿润气候^[16],随海拔的升高温度逐渐降低,在适于植物生长的峡谷地带,温度较高。因此西藏东南部年均温度较高,在树木生长季温度是非生长限制因子,所以 $\delta^{13}\text{C}$ 序列中包含的温度变化信息较少。

表 1 过去 100 年树轮稳定碳同位素序列统计特征

Table 1 Statistics of stable carbon isotope series in tree rings of the past 100 years

	云杉	冷杉
自回归系数	$r_1=0.389$ $r_2=0.333$ $r_3=0.218$	$r_1=0.361$ $r_2=0.303$ $r_3=0.181$
均值	-22.23	-22.97
中值	-22.20	-22.99
方差	0.18	0.19
标准差	0.42	0.44
最小值	-23.15	-23.87
最大值	-21.24	-22.14
范围	1.91	1.73
偏度	0.00	0.02
峰度	-0.60	-1.00

表 2 冷杉和云杉 $\delta^{13}\text{C}$ 序列相关分析
(通过 0.01 信度检验)

Table 2 Correlation analysis of $\delta^{13}\text{C}$ series of *Abies ssectabilis* and *Likiangensis* var. *Linzhiensis* (passed 0.01 confidence test)

	raw data	standard
每 年	0.3697(100)	0.4188(100)
3 年滑动平均	0.4257(98)	0.5405(98)
5 年滑动平均	0.4677(96)	0.6217(96)

冷杉和云杉类树木的生长习性基本上相似,所以两者在气候信息的响应上除在细节上有差异外,大致相同。由于树种的不同,与同位素分馏有关的生理生化反应也存在差异,但这种差异引起的年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 变化可以通过适当方法进行消除,然后进行比较。

2.3 结论与讨论

从发现年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 受气温影响^[22]后,利用树木年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 进行气候变化的研究取得了重大发展。年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 序列反映的气候变化既包括长期趋势,也包括高频变化^[23]。由于降水受地形的影响较大,降水在不同地区的变化方向可能完全相反;即使方向相同,变化的幅度可能存在很大不同^[24]。对于反映降水变化的 $\delta^{13}\text{C}$ 序列,局部小地形的影响不容忽视。本研究分析结果表明冷杉和云杉 $\delta^{13}\text{C}$ 序列与降水量和相对湿度的关系密切,即 $\delta^{13}\text{C}$ 序列主要反映区域的水分状况变化。由于云杉和冷杉样点存在一定距离(气象站距云杉样点为 44.2km;气象站距冷杉样点为 70.8km;云杉和冷杉样点间距为 26.8km),两 $\delta^{13}\text{C}$ 序列间的高频细节差异与样点间的地形、坡向等因素有关。

在高海拔地区,大气压力相对较低。 CO_2 相对较难被植物利用。较低的大气压力可导致叶片内外 CO_2 分压比 (P_i/P_a) 降低^[25],使得叶片气孔导度增大,造成光合产物的碳同位素偏重。因此植物 $\delta^{13}\text{C}$ 变化与海拔有一定关系。冷杉和云杉样本海拔相差 100 米,所以海拔高度差异对两 $\delta^{13}\text{C}$ 序列的变化差异也有一定贡献。

许多研究表明年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 序列趋势差异与“林冠效应”^[26,27] 有关。林冠效应既可以引起树木稳定碳同位素的短期变化,也可以影响同位素组成的长期变化。树径和树高的不同,使得叶片气体交换 (Ci/Ca) 速率的变化在气候发生变化时响应不同,树木年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 比率也有所不同^[28]。本研究样本冷杉年龄为 350 年,云杉为 205 年,冷杉树木的胸径和高度远大于云杉。因此,林冠效应对冷杉和云杉 $\delta^{13}\text{C}$ 序列的趋势变化差异的贡献不容忽视。

通过对采自西藏东南部林芝地区的喜马拉雅冷杉和林芝云杉稳定碳同位素进行分析,将两个 $\delta^{13}\text{C}$ 序列进行比较,并与附近的气象观测值进行相关分析。结果表明:

(1)喜马拉雅冷杉和云杉均记录了大气

CO_2 浓度升高引起的大气 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 下降趋势,但两树种的响应程度有所不同。

(2)功率谱分析检测到年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 序列存在 11.0~13.2a 的显著周期,反应了青藏高原上,太阳活动是气候变化的重要的驱动因子之一。

(3)年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 序列的趋势间的差异与不同树种与同位素分馏有关的生理生化过程有关,林冠效应对 $\delta^{13}\text{C}$ 序列趋势间差异有一定贡献; $\delta^{13}\text{C}$ 序列间的高频细节变化差异与小地形的不同有关。

(4)年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 序列与气象数据的分析表明,冷杉和云杉稳定碳同位素对不同气候因子的响应存在共性和差异。降水量和相对湿度变化与年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 序列密切相关,但温度变化与 $\delta^{13}\text{C}$ 序列相关性较差。

表 3 云杉和冷杉 $\delta^{13}\text{C}$ 标准化序列与逐月气候要素相关分析

Table 3 Correlation analysis of $\delta^{13}\text{C}$ standardization series of <i>Abies spe ctabilis</i> and <i>Likiangensis</i> var. <i>Linzhiensis</i> with monthly climate factors										
月份	林 芝 云 杉									
	降水量		相对湿度		平均温度		平均最低温度		平均最高温度	
	当年	滞后	当年	滞后	当年	滞后	当年	滞后	当年	滞后
1	0.089	-0.104	0.098	-0.178	0.183	0.103	0.187	0.125	-0.019	0.052
2	-0.326	-0.137	-0.138	0.100	0.247	-0.152	0.349	-0.067	-0.082	-0.124
3	-0.037	-0.023	-0.124	0.145	-0.020	0.029	0.152	-0.118	-0.167	0.175
4	-0.059	0.079	0.064	0.053	-0.243	-0.043	0.111	-0.014	-0.147	-0.011
5	0.415	0.008	0.249	-0.151	-0.062	0.099	-0.007	-0.082	-0.199	-0.051
6	-0.091	-0.174	0.021	-0.203	0.193	0.288	0.234	0.125	-0.129	0.083
7	-0.015	0.004	0.078	0.166	0.098	-0.002	0.215	-0.123	0.166	-0.174
8	0.317	0.216	0.389	0.419	-0.296	-0.109	-0.280	0.010	0.044	0.245
9	0.237	0.208	0.313	0.302	0.021	-0.042	0.091	-0.235	0.037	0.113
10	0.234	0.349	0.167	0.407	0.074	-0.053	0.119	-0.068	-0.129	0.066
11	0.189	0.086	0.143	0.314	0.102	0.277	0.140	0.172	-0.122	0.208
12	-0.016	-0.068	-0.087	0.102	0.068	-0.044	0.310	0.007	-0.241	-0.098

喜 马 拉 雅 冷 杉										
月份	降水量		相对湿度		平均温度		平均最低温度		平均最高温度	
	当年	滞后	当年	滞后	当年	滞后	当年	滞后	当年	滞后
1	0.062	-0.445	0.115	0.045	0.070	0.129	0.199	0.095	0.145	0.056
2	-0.052	-0.038	0.222	0.082	0.003	0.078	0.181	0.173	0.063	0.032
3	0.016	0.070	0.269	0.099	-0.032	0.049	0.370	0.162	0.178	0.122
4	0.292	0.210	0.264	0.260	-0.078	0.031	0.226	0.220	-0.228	-0.190
5	0.112	-0.111	0.218	-0.009	-0.060	0.088	0.044	-0.004	-0.005	0.139
6	-0.260	-0.039	-0.095	0.133	0.152	0.127	0.160	0.159	0.295	0.164
7	-0.013	0.225	0.066	0.138	-0.042	-0.157	-0.029	-0.209	0.175	0.117
8	0.220	0.040	0.272	0.093	0.171	0.133	-0.070	-0.209	0.027	-0.089
9	0.215	0.374	0.295	0.614	-0.106	0.164	0.030	0.134	-0.147	-0.191
10	0.265	-0.039	0.501	0.414	-0.077	0.159	0.189	0.304	0.054	0.340
11	0.313	0.095	0.212	0.377	0.038	0.246	0.225	0.285	0.170	0.360
12	-0.030	-0.163	0.111	0.241	-0.008	0.143	-0.130	-0.040	-0.116	0.187

注:当年为当年气候要素与 $\delta^{13}\text{C}$ 分析;滞后为气候要素与下一年 $\delta^{13}\text{C}$ 分析。 $r>0.311$,通过 0.05 检验; $r>0.264$,通过 0.1 检验。

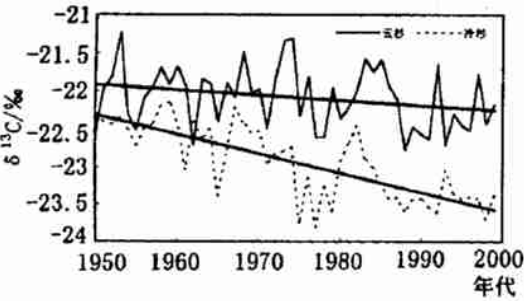


图 2 过去 50 年冷杉和云杉年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 的下降趋势比较

Fig.2 Comparison of the descending trends of $\delta^{13}\text{C}$ in tree-rings of *Abies spectabilis* and *Likiangensis var. Linzhiensis* during the past 50 years

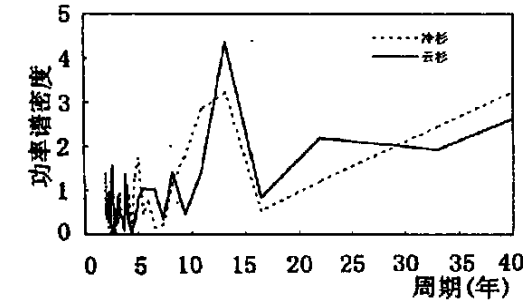


图 3 云杉和冷杉年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 功率谱分析

Fig.3 Power spectrum analysis of $\delta^{13}\text{C}$ in tree-rings of *Abies spectabilis* and *Likiangensis*

参考文献:

[1] 钱君龙, 吕军, 等. 用 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(D), 2001, (4): 333—341.

[2] 刘禹, 吴祥定, 邵雪梅. 树轮宽度、稳定碳同位素对过去近 100 年陕西黄陵季节温度和降水的重建[J]. 中国科学(D), 1997, 27: 271—276.

[3] Francy R J, G D Farquhar. An explanation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ variations in tree rings[J]. Nature, 1982, (297): 28—31.

[4] Lipp J, Trimbom P, Fritz P. Stable isotopes in tree ring cellulose and climate change [J]. Tellus, 1991, 43(B): 322—330.

[5] Marino B D, McElroy M B. Isotopic composition of atmospheric CO_2 inferred from in C_4 plant cellulose[J]. Nature, 1991, 349: 127—131.

[6] Minze Stuiver & Thomas F. Braziliunas. Tree cellulose $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratios and climate change [J]. Nature, 1987, 328(2): 58—61.

[7] R. Ramesh, S. K. Bhattacharya and K. Gopalan. Dendroclimatic implications of isotope coherence in trees from Kashmir valley, India[J]. Nature, 1985, 317(31): 802—804.

[8] R. Ramesh, S. K. Bhattacharya and K. Gopalan. Climatic correlations in the stable isotope records of silver fir trees from Kashmir, India

[J]. Earth and Planetary Science letters, 1986, 79: 66—74.

[9] D. L. Hemming, V. R. Switsur, J. S. Waterhouse, et al. Climate variation and the stable carbon isotope composition of tree ring cellulose: an intercomparison of quercus robur, Fagus sylvatica and Pinus silvestris[J]. Tellus, 1998, 50B (1): 25—33.

[10] Marvin A. Stokes and terah L. Smiley. An introduction to tree-ring dating[M]. Chicago: The university of chicago press, 1968.

[11] Livingstone N J, Spittlehouse D L. Carbon isotope fraction in tree rings in relation to the growing season water balance [A]. In: 20th conference on agricultural and forest meteorology [C]. Boston, MA: Preprint volume, American Meteorological Society, 1991. 16—166.

[12] Xiahong Feng. Long-term C/Ca responds of trees in western North America to atmospheric CO_2 concentration derived from carbon isotopes chronologies [J]. Oecologia, 1998, (117): 19—25.

[13] 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 年以来的夏季气温[J]. 中国科学(D), 2002, 32(8): 667—674.

[14] Masahiro Sakata, Kiyoshi, Tadasgi Koshiji. Variations of wood $\delta^{13}\text{C}$ for the past 50 years in declining siebold's beech (*Fagus crenata*) forest [J]. Environmental and Experimental Botany, 2001, 45: 33—41.

[15] 王宁练, 姚檀栋, L. G. Thompson. 青藏高原古里雅冰芯中 NO_3^- 浓度与太阳活动[J]. 科学通报, 1998, 43(3): 309—312.

[16] 中国植物编辑委员会. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 32—199.

[17] 康兴成, 张其花. 青藏高原高海拔地区柏树生长季节的探讨[J]. 冰川冻土, 2001, 23(2): 149—155.

[18] Winter K., Holthum J. A. M. and Edwards G. E. et al. Effect of low relative humidity on $\delta^{13}\text{C}$ value in two C_3 grasses and in panicum milioides, a C_3 — C_4 intermediate species [J]. Journal of experimental botany, 1982, 33(132): 88—91.

[19] Schleser G. H. Parameters determining carbon isotope ratios in plants [A]. In: B. Frenzel, B. Stauffer, and M. M. Weiss (Eds.). Problems of stable isotopes in tree-rings, lake sediment and peat bogs as climatic evidence for the holocene [C]. Palaoklimafor-schung Palaoclimate research, Vol. 15. 71—96.

[20] Schleser G. H., Gerhard Helle, andreas Lucke, et al. Isotope signals as climate proxies: the role of transfer functions in the study of terrestrial archives [J]. Quaternary science reviews, 1999, 18: 927—943.

[21] Annabel Porte and Denis Loustau. Seasonal and interannual variations in carbon isotope discrimination in a maritime pine stand assessed from the isotopic composition of cellulose in annual rings [J]. Tree Physiology, 2001, 21: 861—868.

[22] Peaman G I, Francy R J, Fraser P J b. Climatic implications of stable carbon isotopes in tree rings [J]. Nature, 1976, (260): 771—773.

[23] Leavitt S W, Long A. Stable carbo isotope chronologies from trees in the southwestern United States [J]. Global biogeochem Cycles, 1988, (2): 189—198.

[24] Bradley R S, Diaz H F, Eischeid J K, et al. Precipitation fluctuations over northern hemisphere land areas since the mid—19th century [J]. Science, 1987, 237: 171—175.

[25] Kerner C H, Farquhar G D, Wong S C. Carbon isotope discrimination by plants latitudinal and altitudinal trends [J]. Oecologia, 1991, (88): 30—40.

[26] Francey R J, Farquhar G D. An explanation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ variations in tree rings [J]. Nature, 1982, (297): 28—31.

[27] Freyer H D, Belacy N. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ records in northern hemispheric trees during past 500 years an thropogenic impact and climatic superpositions [J]. J G R, 1983, (88): 6844—6852.

[28] D-Bonal and D-Sabatier and P-Montpied, et al. Interspecific variability of $\delta^{13}\text{C}$ among trees in rainforests of French Guiana: functional groups and canopy integration [J]. Oecologia, 2000, 124: 454—468.

Climatic Significance Comparison of $\delta^{13}\text{C}$ Series in Tree — rings between *Abies Spectabibis* and *Likiangensis* Var. *Linzhiensis*

CHEN Ke-long¹, LIU Xiao-hong²

(1. Geographic Department of Qinghai Normal University, Xining 810008, China;
2. Key Laboratory of Ice Core and Cold Regions Environment, Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Stable carbon isotope ratios were measured on the α -cellulose of *Abies spectabibis* and *Likiangensis* var. *linzhiensis* in Nyingchi region after cross-dating. The two $\delta^{13}\text{C}$ series recorded the declining trend of $\delta^{13}\text{C}$ due to the increasing concentration of CO_2 in the atmosphere, but with different response. With the detail differences, there are common climatic information in high frequencies of $\delta^{13}\text{C}$ series. As to the response to climate change, the climatic information recorded in $\delta^{13}\text{C}$ series can be compared with each other.

Key words: *Abies spectabibis*; *Likiangensi* var. *linzhiensis*; $\delta^{13}\text{C}$ in tree-rings