

## 青藏高原(东北部)现代植物 碳同位素组成特征及其气候信息

李相博 陈践发 张平中 刘光秀

**摘要** 分析了青藏高原(东北部)现代植物(全部为C<sub>3</sub>植物)全木混合样的碳同位素组成(其 <sup>13</sup>C值分布范围一般为-23.5‰ ~ -30.8‰, 平均值为-26.6‰),对影响其变化的各种环境因素进行了探讨。研究表明,降雨量及大气压力是影响该区植物 <sup>13</sup>C值变化的最重要环境因素。一方面,降雨量增大,空气相对湿度增大,植物的 <sup>13</sup>C值降低(偏负);另一方面,大气压力降低,植物的 <sup>13</sup>C值增大(偏正)。可见,植物中保存着自然环境变化的大量信息。

**关键词** 青藏高原(东北部) C<sub>3</sub>植物 <sup>13</sup>C 气候信息

**中图分类号** P597.2 **文献标识码** A

### The Characteristics of Carbon Isotope Composition of Modern Plants over Qinghai-Tibet Plateau (NE) and Its Climatic Information

LI Xiang-bo<sup>1</sup> CHEN Jian-fa<sup>2</sup> ZHANG Ping-zhong<sup>2</sup> LIU Guang-xiu<sup>3</sup>

1 (Northwest Institute of Geology, CUNPE Lanzhou 730 020)

2 (Lanzhou Institute of Geology Chinnse Academy of Sciences Lanzhou 730000)

3 (Lanzhou Institute of Glaciology Geocryology,CAS Lanzhou 730000)

#### Abstract

Global change become a world wide concerned problem in the recent years. The study of plant carbon isotopic composition become an important field in the research of global change, in which a fundamental goal is to determine the controlling factors of plant carbon isotope discrimination and composition.

The paper gives an analysis on the carbon isotope composition of modern plants (all are C<sub>3</sub> species) in Qinghai-Tibet plateau(NE) and a detailed discussion on the various factors that can influence it. The value of <sup>13</sup>C of 61 samples varies from -23.5‰ to -30.8‰, with an average of -26.6‰. Analysis shows that with the same plant the <sup>13</sup>C value increases with the increase of altitude and decreases with the increase of latitude. The result of this study shows that precipitation, air moisture and pressure are the most important environmental factors to the change of <sup>13</sup>C. The less the amount of precipitation, the more

positive the plant  $^{13}\text{C}$  values are. On the other hand, the higher the air pressure the more assimilation of leaf to  $\text{CO}_2$  (A), leaf stomatic conductance (g) and intercellular/ambient partial pressure ratio ( $P_i/P_a$ ). According to their effect on A, g and  $P_i/P_a$ , it is clear that the precipitation, air moisture and pressure cause the change of plant  $^{13}\text{C}$  value.

The study suggests that a lot of information reflecting the change of nature environment can be recorded in plants. So it is completely possible to extract climatic information from plant  $^{13}\text{C}$ .

**Key words** Qinghai-Tibet plateau (NE)  $\text{C}_3$  plants'  $^{13}\text{C}$  climatic information

沉积物中有机质碳同位素组成特征被认为是研究过去气候、环境变化的重要手段之一，许多学者(1~4)曾以此为研究对象，试图通过对沉积物中泥炭碳同位素组成( $^{13}\text{C}$ )的研究来提取气候变化的信息。那么，究竟能不能从中提取气候信息呢？问题的实质就转化为植物在其生长过程中是否记录了当时的气候信息，这便是本文要探讨的问题。

青藏高原因其独特的环境地理条件，对其环境问题的研究成为当今国际地学界的热门课题之一，本文选择青藏高原(东北部)为研究地区，分析了其现代植物( $\text{C}_3$ 植物)的碳同位素组成( $^{13}\text{C}$ )，并试图探讨它与温度、湿度及大气压等诸气候要素之间的关系。

## 1 研究区气候特征

青藏高原位于我国西南边疆，平均海拔约4500 m，是世界上海拔最高、地形最复杂的高原。由于青藏高原地势高亢，面积辽阔以及强烈的热力和动力作用，使它形成了一个与同纬度地区截然不同的非常独特的天气气候区，高原的温度具有自西北向东南递增的特征，降水的分布也大致与此特征相同，因此，青藏高原的气候具有西北严寒干燥、东南温暖湿润的特征。本次研究所涉及的范围位于青藏高原的东北部(图1)，包括的气候类型主要有：高原温带甘南半湿润气候区(B)、海南半干旱气候区(C)、柴达木极度干旱气候区(D+E)、高原亚寒带阿坝湿润气候区(A)及那曲果洛半湿润气候区(B)。

## 2 样品采集与分析

### 2.1 样品采集

植物样品均为成熟的茎和叶，其采集是按照不同的海拔及纬度变化进行的。在每个采样地点都记录了它的经纬度及海拔高度，并收集到了各采样点附近气象观测台站的气象资料。需要说明的是，未能收集到各采样地点的光照资料，但从定性角度来说，一般认为在青藏高原，随海拔升高光辐射值是增大的。另外，采样时也避开了局部阴影对植物生长所造成的影响。



图1 青藏高原气候区划图(据林振耀, 1987)  
(方框内为研究区)

Fig.1 Distribution map of climate in Qinghai-Tibet plateau  
(after Lin Zhenyao, 1987)(the study area is blocked)

## 2.2 样品分析

植物全木样品经自然晾干后, 磨碎至100目, 用燃烧法使其在氧气中燃烧生成 $\text{CO}_2$ 。 $\text{CO}_2$ 的碳同位素组成( $^{13}\text{C}$ )是在MAT-251质谱仪上进行的, 采用的标准为PDB, 测量误差 $<0.2\text{‰}$ 。

## 3 实验结果

### 3.1 青藏高原现代植物碳同位素组成的总体分布

本次共测定样品61个, 均为全木混合样, 其 $^{13}\text{C}$ 值的频率分布直方图如图2所示。 $^{13}\text{C}$ 的主要分布范围在 $-23.5\text{‰} \sim -30.8\text{‰}$ 之间, 平均值为 $-26.6\text{‰}$ 。由于植物叶子 $^{13}\text{C}$ 值较其全木混合样 $^{13}\text{C}$ 值为正, 二者相差 $0.3\text{‰}$ 左右, 若考虑到这一较正因子, 本次所测定的 $\text{C}_3$ 植物叶子的 $^{13}\text{C}$ 平均值应为 $-26.3\text{‰}$ 左右。这一结果与Körner<sup>(5)</sup>对全球一些主要山脉高海拔区(2500~5600m) $\text{C}_3$ 植物叶子的 $^{13}\text{C}$ 值所做的调查结果非常接近(其平均值为 $-26.15\text{‰}$ )

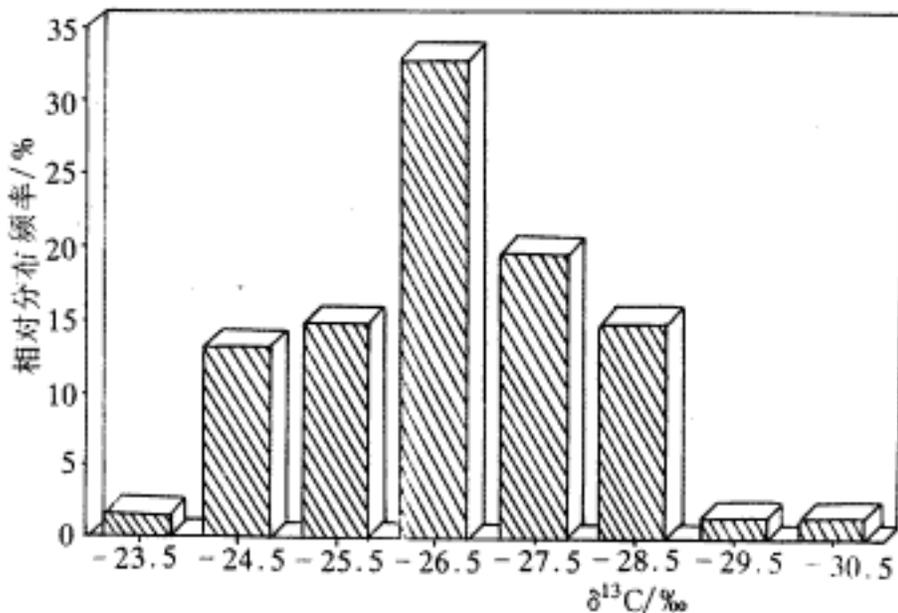


图2 青藏高原东北部现代植物  
 $^{13}\text{C}$ 频率分布直方图

Fig.2 Frequency distribution histogram map of  
 $^{13}\text{C}$  in modern plants from Qing-Zang plateau.

### 3.2 青藏高原(相同纬度区) $\text{C}_3$ 植物的 $^{13}\text{C}$ 值随海拔的变化

表1中表示了中纬度地区相同种植物的  $^{13}\text{C}$  值随海拔变化的情况。从表中可以看出：在同一纬度带上，高海拔区的植物总是比低海拔区的植物富集重碳同位素，即  $^{13}\text{C}$ 值偏正。但也存在个别相反的情况，例如猪毛菜和狼毒的  $^{13}\text{C}$ 值随海拔升高而降低(偏负)。

### 3.3 低纬度高海拔区与高纬度低海拔区植物的 $^{13}\text{C}$ 变化

在较低纬度的高海拔区与较高纬度的低海拔区之间，具有相似的低温环境<sup>(6)</sup>，但由于海拔高度不同，大气压力是明显不同的，一般随纬度升高海拔降低，大气压力是增加的。表2表示了来自这些地区的植物的  $^{13}\text{C}$ 值。从表中可明显看出，每种植物的  $^{13}\text{C}$ 值随纬度变化都遵循相同的规律，即随纬度增加， $^{13}\text{C}$ 值降低(偏负)。

## 4 讨论及结论

植物的生长是通过光合作用固定大气中的 $\text{CO}_2$ 以合成自身的组成物质。由于轻、重同位素在热运动或生化反应中的活动性不同，植物在吸收 $\text{CO}_2$ 进行光合作用时，则导致碳同位素的分馏。此分馏作用既受遗传因素控制，也直接或间接的受植物生长时期的环境气候状况的影响。植物碳同位素组成( $^{13}\text{C}$ )的遗传差异是一种广泛存在的现象<sup>(6~9)</sup>。为了消除遗传因素的影响，本文只对相同种的植物进行研究，以突出环境因素的影响作用。

### 4.1 植物的 $^{13}\text{C}$ 值随纬度、海拔变化的机理

本研究的主要目的是利用植物碳同位素组成( $^{13}\text{C}$ )随纬度及海拔变化的规律来推的 $^{13}\text{C}$ 值降低(偏负),随海拔升高,同一种植物的 $^{13}\text{C}$ 值增大(偏正)。很明显,与纬度和海拔相联系的环境因素(如源 $\text{CO}_2$ 构成、湿度、光照及降水等)是控制植物 $^{13}\text{C}$ 值变化的决定性因素。下面利用 $\text{C}_3$ 植物碳同位素分馏模式来讨论在本研究区环境状况对植物碳同位素组成( $^{13}\text{C}$ 值)的影响。 $\text{C}_3$ 植物生长过程中碳同位素分馏模式<sup>(10)</sup>可用下式表示:

表1 中纬度地区(青藏高原)植物 $^{13}\text{C}$ 值随海拔变化情况

Table 1 The altitude variation of  $^{13}\text{C}$  in modern plants from middle latitudinal area (Qinghai-Tibet plateau)

植物名称	海拔 / m	$^{13}\text{C} / \text{‰}$	年降水量 / mm	平均湿度 / % (5、6、7月)	平均温度 / (5、6、7月)	平均大气压 / hbar
忍冬	3400	-27.6	810.8	74	7.7	683.2
	4400	-25.3	357.0	60.0	4.4	598.0
秀线菊	3410	-27.8	851.2	71.7	11.9	665.5
	4100	-26.4	650.0	72.7	7.3	640.5
灯芯草	3400	-29.9	472.5	73	9.9	698.2
	3800	-28.1	465.0	70	7.3	647.7
狼毒	3300	-23.5	420.1	64.3	9.4	696.1
	3500	-24.3	462.0	73	9.0	696.0
猪毛菜	3100	-24.4	226.3	55.3	10.9	699.7
	3400	-25.0	407.0	68.3	14.2	577.9
紫草科	3400	-30.8	810.8	71.7	11.9	698.2
	3400	-26.6	462.5	70.7	9.9	683.2

表2 低纬度高海拔区与高纬度低海拔区植物 $^{13}\text{C}$ 值变化情况

Table 2 The Variation of  $^{13}\text{C}$  in modern plants from the area of high altitude at low latitude and low altitude at high latitude

植物名称	纬度	海拔 / m	$^{13}\text{C} / \text{‰}$
委陵菜	5°	4200	-24.3°
	34° 54.18	3140	-27.4
火绒草	27°	5200	-27.0°
	34° 54.18	3140	-28.7

	34 ° 54.18	3950	-26.7
廖	32 ° 34.02	3410	-26.9
	34 ° 54.18	3140	-27.6
马先蒿	34 ° 18.57	3500	-26.5
	47 °	3000	-27.5 •
报春花	34 ° 12.40	3400	-26.0
	47 °	3000	-26.9 •
葶苈属	35 ° 30.84	4400	-25.2
	37 °	3950	-25.8 •
	78 °	50	-29.9 •
角蒿	34 ° 57.54	1400	-24.5
	47 °	2900	-26.9 •

• 引自Körner (1991)

$$p = a - a - (b - a)(P_i / P_a) \quad (1)$$

(1)式中  $p$  为  $C_3$  植物全木(或纤维素)的  $^{13}C$  值,  $a$  为植物生长季节内大气  $CO_2$  中的  $^{13}C$  值,  $a$  指  $^{13}CO_2$  和  $^{12}CO_2$  的不同扩散系数(其值约为 4.4%),  $b$  指由 RUBP 酶所决定的分馏系数(约为 27%),  $P_i$  和  $P_a$  分别表示植物叶子细胞内部和外部的局部压力或者浓度。  $P_i$  和  $P_a$  之间又有如下关系:

$$P_i = P_a - A/g \quad (2)$$

(2)式中  $A$  为植物对  $CO_2$  的吸收同化率,  $g$  为植物叶子外部小孔的导通系数。各种外部条件都可能引起  $A$ 、 $g$  值的变化,从而改变  $p$  的值。

鉴于研究区的特殊环境气候状况,试用(1)、(2)式对实验结果做以下分析:

#### 4.1.1 源效应

前人研究<sup>(5,11)</sup>表明,大气  $CO_2$  的  $^{13}C$  值随海拔、纬度变化很小(约保持在 -8‰ 左右),因此它对植物  $^{13}C$  值的影响是同步的。呼吸作用产生的  $CO_2$  (约 -25‰ ~ -30‰)会对植物叶子的  $^{13}C$  值产生明显影响<sup>(11,12)</sup>,然而,本次研究在采集样品时尽量选择开阔环境中的阳生植物,不会有空气循环的死角存在,因此由植物呼吸作用带来的效应可忽略不计。

#### 4.1.2 温度效应

温度是影响植物  $^{13}C$  值的重要因素<sup>(8,13)</sup>,然而,在本研究区,用温度来解释植物的  $^{13}C$  值似乎不太合适。首先,在同一纬度区,随海拔升高,温度降低,植物光合作用效率降低,导致植物叶子细胞内  $CO_2$  含量相对升高,即  $P_i$  值相对升高,  $P_i/P_a$  值增大<sup>(14)</sup>,从而使得植物  $^{13}C$  值应该降低,这与我们的发现是相反的。其次,也不能用温

度来解释  $^{13}\text{C}$  随纬度的变化。我们的样品采集于中纬度高海拔区，所引用的有关文

物  $^{13}\text{C}$  随纬度变化的原因。

#### 4.1.3 光照条件

据前人资料<sup>(14)</sup>，光照只有在很弱的条件下( $<50 \mu\text{moln}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，才会引起植物Pi/Pa的变化，而在光照大于 $50 \mu\text{moln}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的正常光照条件下，Pi/Pa几乎保持不变。鉴于此，虽然未能搜集到研究区的具体光照资料，但所采样品均为正常光照条件下的阳生植物，并且不会有局部阴影的影响，因此，有理由认为光照不会引起(Pi/Pa)的变化，也就不能用光照强度来解释  $^{13}\text{C}$  值随纬度及海拔的变化。

#### 4.1.4 大气压力

在本研究区大气压力是影响植物  $^{13}\text{C}$  的因素之一。从表1中可明显看出：大气压力、海拔及  $^{13}\text{C}$  三者之间有着明显的依赖关系、海拔升高，大气压力降低， $^{13}\text{C}$  值增大，所分析的6个样品都服从这一规律。大气压力的降低意味着植物叶子内外分压之比(Pi/Pa)的降低<sup>(6)</sup>，依据(1)式，必然导致  $^{13}\text{C}$  增大，这与我们的实验结果是一致的。

低纬度高海拔区与高纬度低海拔区植物  $^{13}\text{C}$  的变化规律也可从大气压力的变化中得到解释，但笔者未能搜集到高纬度低海拔区的大气压数据，不过，高纬度低海拔区的植物确实具有较高的Pi/Pa值，这一现象已在许多地方观测到了<sup>(6)</sup>。

#### 4.1.5 降水及湿度效应

表1中列出了研究区内6种植物的  $^{13}\text{C}$  值、采样地点的年降水量及湿度数据(其中湿度只采用了5月、6月及7月三个月的平均值，这是由于考虑到该区植物的生长主要集中在在这三个月)，从中可以看出：各种植物的  $^{13}\text{C}$  与其采样地点的降水量及空气相对湿度之间存在明显相关关系，随降雨量增大空气相对湿度增大，植物的  $^{13}\text{C}$  值降低。最明显的例子是紫草科植物，采集了两个不同气候区的该类植物，其中一个样品采集于甘南碌曲，属半湿润气候区，年降水量462.5mm，空气相对湿度为70%，其植物  $^{13}\text{C}$  为  $-26.6\text{‰}$ ；另一个样品采集于四川阿坝地区，属于湿润气候区。与碌曲相比，年降水量增加了近一倍，为810.8mm，空气相对湿度增加了1.7%(达71.7%)，植物  $^{13}\text{C}$  的值相应地降低了4.2‰，为 $-30.8\text{‰}$ 。 $^{13}\text{C}$  值随降水及湿度的这种变化规律可以从分馏公式(1)式中得到解释，降雨量减少，相对湿度降低，植物为减少蒸发，会收缩关闭部分气孔，使g值减少，Pi/Pa值降低<sup>(8,10,11)</sup>，进而引起  $^{13}\text{C}$  值增大(偏正)；反之，当降雨量增大时，会使g值增大，Pi/Pa值升高，从而引起  $^{13}\text{C}$  值降低(偏负)。表1中的狼毒和猪毛菜在高海拔区具有较高的年降水量及较大的空气湿度，这可能是造成这两类植物在高海拔区具有低的  $^{13}\text{C}$  值的主要原因。

需要说明的是：以上只讨论了在该研究区，影响植物  $^{13}\text{C}$  变化的主要环境气候因子，实际上，植物  $^{13}\text{C}$  的影响因素往往是很复杂的，可能受多种气候及环境因素的影响，而且这些因素之间还会相互影响，甚至会对植物的  $^{13}\text{C}$  值发生完全相反的影响作用。

#### 4.2 结论

青藏高原(东北部)现代植物的  $^{13}\text{C}$  值分布范围一般为 $-23.5\text{‰} \sim -30.8\text{‰}$ ，平均值为 $-26.6\text{‰}$ ，影响其变化的主要环境因素是降雨量和大气压力状况。一方面，降雨量增大，空气相对湿度增大，植物的  $^{13}\text{C}$  值降低；另一方面，大气压力降低，植物的

$^{13}\text{C}$ 增大,可见,植物中保存着自然环境变化的大量信息,利用植物  $^{13}\text{C}$ 值变化提

国家自然科学基金项目“若尔盖泥岩中苔草的碳氢同位素与古气候关系的研究”(项目编号;496731797)资助

第一作者简介 李相博 男 1966年出生 硕士 地球化学及石油遥感

作者单位:李相博(石油天然气总公司西北地质研究所 兰州 730020)

陈践发 张平中(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

刘光秀(中国科学院兰州冰川冻土研究所 兰州 730000)

## 参考文献

- [1] 王富葆, 阎革, 林本海等. 若尔盖高原泥炭  $^{13}\text{C}$ 的初步研究 [ J ]. 科学通报, 1993, 38(1): 65 ~ 67
- [2] 张平中, 王先彬, 陈践发等. 湖相有机质的氢指数及碳同位素组成—湖面波动评价的指标—以RH孔为例 [ J ]. 科学通报, 1995, 40(18): 1682 ~ 1685
- [3] Cerling T E, Quade J, Wang Y, Bowman J R. Carbon isotopes in Soils and Palaeosoils as ecology and palaeoecology indicators [ J ]. Nature, 1989, 341: 138 ~ 139
- [4] Humphrey J D, Ferring C R. Stable isotopic evidence for latest pleistocene and holocene climatic change in North-Central Texas [ J ]. Quaternary Research, 1994, 41: 200 ~ 213
- [5] Körner Ch, Farquhar G D, Roksandic Z. A global survey of carbon isotope discrimination in plants from high altitude [ J ]. Oecologia, 1988, 74: 623 ~ 632
- [6] Körner Oh, Farquhar G D, Wang S C. Carbon isotope discrimination by plants follows latitudinal and altitudinal trends [ J ]. Oecologia, 1991, 88: 30 ~ 40
- [7] Balesdent J. Site-Related  $^{13}\text{C}$  of tree leaves and soil organic matter in a temperate forest [ J ]. Ecology, 1993, 74(6): 1713 ~ 1721
- [8] Saurer M, Sigenthaler U. The climate-carbon isotope relationship in tree rings and the significance of site conditions [ J ]. Tellus, 1995, 46B: 320 ~ 330
- [9] Farquhar G D, Ehleringer J R, Hubick K T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis [ J ]. Ann Rev Plant Physiol 1989, 40: 503 ~ 537
- [10] Farquhar G D, O'Leary M H, Berry J A. On the relationship between carbon isotope discrimination and intercellular carbon dioxide concentration in leaves [ J ]. Aust. J. Plant Physiol, 1982, 9: 121 ~ 137
- [11] Francey R J, Farquhar G D. An explanation of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  variations in tree rings [ J ]. Nature, 1982, 295: 28-31
- [12] Vogel J C. Recycling of carbon in a forest environment [ J ]. Oecol. Plant, 1978, 13: 89 ~ 94
- [13] Stuiver M, Braziunas T F. Tree cellulose  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  isotope ratios and climatic change [ J ]. Nature, 1987, 328: 58 ~ 60

[14] Farquhar G D, Wong S C. An empirical model of stomatal conductance [ J ] .

收稿日期：1998-03-04 收修改稿日期：1998-07-30