

文章编号 1001-8166(2004)增-0424-05

# 青藏高原腹地现代植物 $^{13}\text{C}$ 空间分异反映的环境信息

王 谋<sup>1</sup> 李 勇<sup>1</sup>, 张玉修<sup>1</sup>, 李亚林<sup>1</sup>, 黄润秋<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

**摘 要** 对研究区植被碳同位素组成进行分析, 该区高山嵩草样  $^{13}\text{C}$  值在  $-25.63\text{‰} \sim -27.95\text{‰}$  之间, 平均值  $-26.63\text{‰}$ ; 高寒草原区混合样  $^{13}\text{C}$  值于  $-26.29\text{‰} \sim -27.73\text{‰}$  之间, 平均  $-27.04\text{‰}$ 。高山嵩草样总体呈现由南东往北西方向正偏趋势, 与高原夏季风运移方向一致 ( $r = 0.44603$ ,  $n = 29$ ,  $p < 0.05$ )。研究区北部高寒草原区混合植物样则更明显的指示了研究区由南向北干旱化的趋势 ( $r = 0.8112$ ,  $n = 5$ ,  $p < 0.1$ )。现代植物碳同位素组成是特定环境影响的结果, 在研究区内的变化趋势, 则被认为是主要受降水环境影响的结果。成规律展布的区域降水条件与地理位置耦合, 建立高原腹地地表植物碳同位素组成与其地理位置的相关。同时通过对该区碳同位素组成的研究反映控制植被生长发育的环境信息。

**关 键 词** 青藏高原腹地 现代植物 碳同位素 环境信息

中图分类号 X171.1 文献标识码 A

现代植物碳同位素组成与环境条件相关。因此通过对现代植物碳同位素组成的研究, 可以获取相应的区域环境信息。研究区位于青藏高原腹地, 高寒草甸与高寒草原过渡区域。吴征益等以温泉—雁石坪一线为高寒草甸—高寒草原分界线 (Wu Zheng-yi et al. 1980)。相应的自然地理分区, 亦将该线南北分为半湿润及半干旱区域 (Atlas of Physical Geography, 1984)。该区域降水等值线图也反映研究区内由南东往北西方向水分显著递减的趋势。这些资料能否获得来自植物碳同位素组成的证实, 其相关性程度大小, 或者  $^{13}\text{C}$  平面展布能否揭示一些规律性的环境信息, 这将对高原植被资源的研究及气候变化与植被响应研究提供依据。

## 1 研究区概况

研究区位于青藏高原腹地羌塘盆地东部, 唐古拉山北麓  $33^{\circ}00' \sim 34^{\circ}00' \text{N}$ ,  $91^{\circ}30' \sim 93^{\circ}00' \text{E}$  (图 1, 图 3)。区内平均海拔高度  $5\ 000\ \text{m}$ , 由山地、宽谷、

盆地和冰原等地貌景观组成, 山体走向向东南方向偏转, 高原面由西北部的平坦型向东南部的切割型转化。该区空气十分稀薄, 含氧量只及沿海地区的  $45\% \sim 55\%$ 。年平均气温为  $-4.1 \sim -10$ , 昼夜温差大。降水量呈现由南东往北西方向递减的趋势, 年降水量平均为  $350\ \text{mm}$ , 降水主要集中在夏季。区域植被由高寒草原和高寒草甸为主构成。在海拔  $5\ 300\ \text{m}$  以上山体, 则主要为高山垫状植被及流石坡稀疏植被控制。受降水因素影响, 研究区植被呈现由南东往北西方向的逆演趋势, 即由南东方向较湿润的草甸植被逐渐过渡到西北部较干燥的高寒草原带。

## 2 样品采集与分析

### 2.1 样品采集

设立目标样带 4 条, 与季风运移方向一致的南东—北西向样带和沿青藏公路南北向样带为主样带 (图 2a), 沿冬曲、当曲设副样带。实验用样品于

收稿日期 2004-04-10.

\* 基金项目 国家自然科学基金项目“西部生态与环境”重大研究计划 (编号: 90102002); 温泉兵站幅 1:25 万国土资源调查项目 (编号: 200213000002) 资助.

作者简介 王谋 (1975-), 男, 博士生, 主要从事生态环境及环境变化的研究. E-mail: cdjgwm@21cn.com

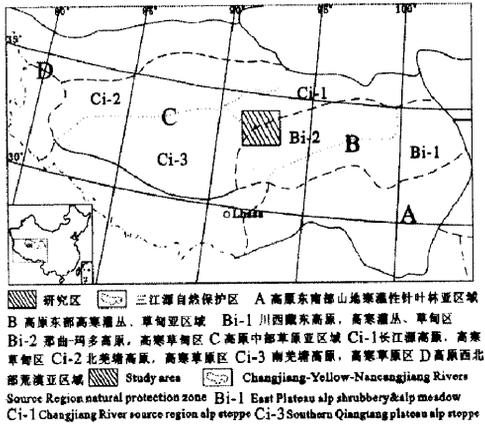


图1 研究区位置及主要植被类型  
(after W uZhengyi 1980)

Fig.1 The location of study area and its  
major vegetation types

2003年5~6月采自研究区不同区域。以研究区分布最广,且群落重要值最高的优势种高山嵩草(*K. pygmaea*)为目标样,在研究区内有高山嵩草分布的区域均以高山嵩草为单一实验对象,欲排除不同种植物碳同位素分馏能力的生理差异对<sup>13</sup>C值造成的影响,研究区北部至沱沱河北岸无高山嵩草分布区内则以紫花针茅、小早熟禾、弱小火绒草等植株取混合样。山地区域取样均为南坡,植被发育较均匀的地方,样品重量约0.5kg,野外自然风干保存。

2.2 实验方法

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CO<sub>2</sub>。CO<sub>2</sub>的碳同位素组成(<sup>13</sup>C)在MAT-251质谱仪上进行分析,采用的标准为PDB,测量误差<0.2‰。

2.3 实验结果与分析

本次样品的测试值,高山嵩草样在-25.63‰~-27.95‰之间,平均值为-26.63‰,高寒草原区混合样<sup>13</sup>C值则介于-26.29‰~-27.73‰之间,平均值为-27.04‰(图3)。样品分析值符合C<sub>3</sub>植物的特征。受高海拔和低温的限制,C<sub>3</sub>和CAM植物不发育是可以理解的(Tieszen等,1979)。单样的高山嵩草碳同位素组成与草原区混合样碳同位素组成不适合进行对比。比较只能在两种样品间分别进行。

高山嵩草<sup>13</sup>C含量表现出随纬度增加正偏而随经度增加负偏的趋势(图2a)。也就是研究区内高山嵩草含量整体表现为由南东往北西方向的正偏

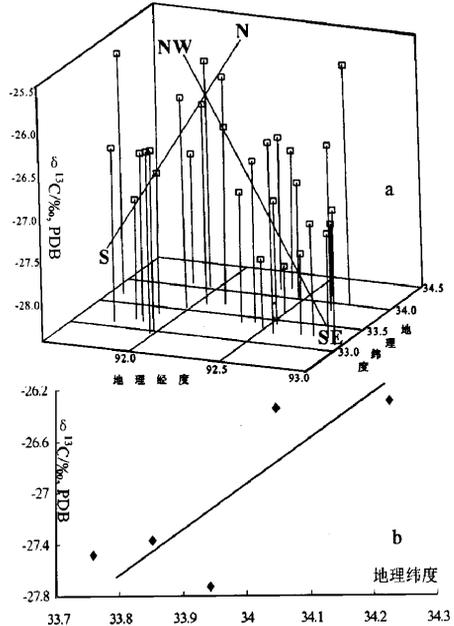


图2 研究区植物碳同位素与地理纬度和经度的关系  
Fig.2 Organic <sup>13</sup>C values of plants with different  
geographical parameter

- a 高山嵩草样地理经度与碳同位素的关系;
- b 高寒草原区混合样与地理纬度的关系;
- a、values of *K. pygmaea* with lat. & LONG.
- b、values of mixed sample of alp. Steppa with lat.

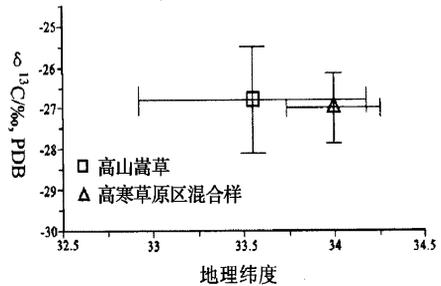


图3 青藏高原腹地高山嵩草及高寒草原区混合  
植物样地理纬度及碳同位素的变化范围

Fig.3 The latitude and *K. pygmaea* and mixed samples of  
alp. steppa <sup>13</sup>C values variation in Qinghai-Tibetan plateau

趋势;研究区北部高寒草原区混合样则反映出随纬度增加,植物<sup>13</sup>C值正偏的趋势。因为该区样点几成南北向展布,未作经度与碳同位素值的拟合。

影响植物叶片碳同位素组成的因素大致可归纳为降水、温度、生理、光照、营养物质、地形、大气压力、海拔高度等方面 (Stuiver 等, 1987; Li xiangbo 等, 1999; Lü Houyuan 等, 2001)。在不同的实验中, 这些影响因子相对于植物碳同位素组成的意义则有差异。

### 2.3.1 温度因子

温度因子是影响植物体内  $^{13}\text{C}$  同位素组成的重要因子之一。Wilson 和 Grinstead 对 *Pinus Radiata* 的研究表明温度每升高一度, 植物体内  $^{13}\text{C}$  值增加 0.2‰, Freyer 和 Belacyd 的研究则表明每升高一度 *Pinus Silvestris*  $^{13}\text{C}$  值增加 0.18‰ (Stuiver 等, 1987)。温度通过对植物生理生化过程中的几种关键酶 (PEPase、Rubiscase 等) 的控制, 影响植物体碳同位素组成 (K rner 等, 1991; K mer 等, 1994; O' Leary, 1988)。实验样品均取自 4500m 以上高原面, 不存在巨大的海拔高差所造成的温度变化。研究区气温, 因为所跨纬度及经度较小 (均在 1.5 度以内), 也可视为等同。我们认为温度因子对研究区植物碳同位素组成的作用是非常有限的。

### 2.3.2 光照及大气压力

Farquhar 等 (Li Xiangbo 等, 1999) 认为光照只有在很弱的条件下  $<50 \mu\text{moln}^{-2}/\text{s}$ , 才会导致植物体内植物叶子细胞内部和外部的压力或者浓度的改变, 而产生  $^{13}\text{C}$  分馏结果的差异, 在大于  $50 \mu\text{moln}^{-2}/\text{s}$  的情况下, 则对  $^{13}\text{C}$  组成的影响不大。实验样品均取自山地阳坡或开阔地区, 日照充足。高原属于阳光强辐射区, 日常光照远大于  $50 \mu\text{moln}^{-2}/\text{s}$  的临界值, 可以忽略光照不等对植物碳同位素组成的影响。同时, 因为在开阔地区取样, 也避免了由于空气流通不畅, 植物呼吸作用产生的  $\text{CO}_2$  对植物叶子  $^{13}\text{C}$  值的影响。 (Francey 等, 1982; Li xiangbo 等, 1999)。

大气压力在众多垂向植被碳同位素组成的研究中, 被认为对随海拔变化的植物  $^{13}\text{C}$  值的改变有重要贡献。 (K rner 等, 1988; K mer 等, 1991; Lü Houyua 等, 2001; Li Xiangbo 等, 1999) 为了避免大气压力对实验值的影响, 试验用高山嵩草样多采自 4700~5000m 的山地, 草原区混合样海拔相差则在 100m 以内, 所以海拔高度及大气压力的影响可视为等同。因此, 在评价影响研究区植物碳同位素组成的环境条件中, 光照及大气压力的差异, 而引起的植物  $^{13}\text{C}$  值的调整也可忽略不计。

### 2.3.3 降水及湿度

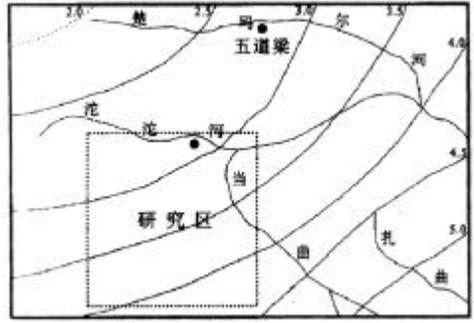


图 4 研究区降水等值线图  
(after Zhou lusheng et al, 2002)

Fig.4 Precipitation sketch map of study area

降水及温度条件在众多的实验中都被认为是影响碳同位素组成的重要环境因子 (Stuiver 等, 1987; Jolly 等, 1997; Cerling T E 等, 1997; Farquhar 等, 1997; Street-Perrott 等, 1997; Su Bo 等, 2000; Johnson 等, 1999)。干旱增加, 植物叶片通过调整表层气孔导度改变水分利用效率来适应环境 (Morecroft 等, 1990; Su Bo 等, 2000) 从而使  $^{13}\text{C}$  值升高。相应的  $^{13}\text{C}$  值经验公式 (Francey, 1982) 也可对此进行分析推导:

$$\frac{^{13}\text{C}}{\text{P}} = \frac{^{13}\text{C}}{\text{a}} - a - (b - a) c_i / c_a \quad (1)$$

$$c_i = c_a - A/g \quad (2)$$

$\frac{^{13}\text{C}}{\text{P}}$ : 植物  $^{13}\text{C}_{\text{org}}$  值,  $g$ : 植物叶片表层气孔导度由 (1)、(2) 式可推知植物  $^{13}\text{C}$  值与  $g$  值之间存在负相关的关系, 也就是随着干旱的增加, 植物叶片气孔导度  $g$  值下降, 植物叶片  $^{13}\text{C}$  值呈正偏的趋势。对比研究区降水等值线图 (图 4) 可发现研究区降水量由南东往北西递减的趋势。实验数据 (图 2a、b) 显示的变化趋势与高山嵩草 (*K. pygmaea*)  $^{13}\text{C}$  值南东—北西向降水递变规律比较吻合 ( $r = 0.44603$ ,  $n = 29$ ,  $p < 0.05$ ), 体现出植被对环境条件的适应。尤其在混合样区, 其相关性较好 ( $r = 0.8112$ ,  $n = 5$ ,  $p < 0.1$  表 1)。随着降水量增加, 植物叶片的  $^{13}\text{C}$  值呈下降的趋势。Morecroft 等将这种现象解释为干旱导致气孔导度的降低, 从而  $^{13}\text{C}$  值正偏。研究区植物碳同位素组成, 表现出与区域降水环境相关。植物  $^{13}\text{C}$  值与地理位置存在耦合性的变化趋势, 因此我们可以对  $^{13}\text{C}$  值与地理经纬度进行模拟, 并寻求变化趋势, 解释环境信息。

表 1 环境(地理)因子与稳定碳同位素组成之间的回归分析

混合样	a	b 相关系数 <sup>a)</sup>		
地理纬度	-129.5447	3.0178	0.81125 <sup>b)</sup>	
高山嵩草样	a	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	相关系数 <sup>c)</sup>
地理经纬度	14.5849	0.3723	-0.5812	0.44603 <sup>d)</sup>

a.  $Y = a + bX_1$ ,  $Y = 13\text{C}(\text{‰})$ ,  $X =$  环境因子,  $n$  (样本数量) = 5;  
 b.  $p < 0.1$ ; c.  $Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$ ,  $Y = 13\text{C}(\text{‰})$ ,  $X =$  环境因子;  
 $n$  (样本数量) = 29; d.  $p < 0.05$

南东—北西向  $^{13}\text{C}$  递增的规律,反映了高原植被对高原夏季风的响应。高原植被的生长期受环境条件限制,集中在每年的 5~9 月,也就是高原夏季风的盛行期。夏季是高原植被生长和发育的季节也是植物进行呼吸、光合等生理过程以及由此产生体内碳同位素分馏的季节,所以植物体内所记载的也是受高原夏季风影响下的环境信息。“由于高原夏季的热源作用,使得高原面上的空气受热上升,拉动印度洋的暖湿气流前来补充,由此带来丰沛的季风降水”(An Zhisheng, 2001)。受喜山高大山体的阻隔,夏季风绕行至高原南东方向“低地”进入高原主体。造就了高原南东方向降水丰沛,森林植被发育,而向西、向北植被变化呈现逆演趋势,体现出植被总体的“高原地带性”。研究区植被所体现出的在碳同位素组成上的规律变化特征,指示了高原植被对区域降水环境(这种降水环境受高原夏季风控制)的响应。高寒草原区混合样则反映出相关性更高的线性规律( $r = 0.8112$ ,  $n = 5$ ,  $p < 0.1$ )。混合样由沱沱河北岸至测区北部,近南北向展布。纬度差为 28.11 分,沿青藏公路采集。总体呈现由南向北  $^{13}\text{C}$  值递增的趋势,反映了该区由南向北逐渐干化的趋势。

### 3 结论

(1) 高原腹地高寒草甸区高山嵩草及高寒草原区混合样植物全木样碳同位素组成在研究区内呈现由南东往北西方向逐渐富重碳同位素趋势,反映了高原植被对区域降水环境的响应。也证实了该区植被类型分布主要受高原季风控制,以及高原季风在研究区南东—北西向的运移方式。

(2) 以高寒草甸—高寒草原过渡区为高原夏季风在高原面上传输的尾阑区,并以研究区高山嵩草  $^{13}\text{C}$  值为季风尾阑区高山嵩草  $^{13}\text{C}$  值大致值域(图 4),为后续研究提供对比参数。

(3) 对高寒草原区混合样以实验值与地理纬度,及南东—北西向样带(高山嵩草样)以实验  $^{13}\text{C}$  值与地理经纬度,建立一元和多元回归分析(表 1),高原腹地植物稳定碳同位素变化规律与地理位置相关,  $^{13}\text{C}$  值随南北向或南东—北西向生长位置不同呈现规律性变化。

致谢 感谢尹观教授对本文提出的建议和指导;野外采样工作得到了周家云、白宪洲、金玮等同志的大力帮助,在此一并致谢。

### 参考文献(References):

- [1] An Zhisheng(安芷生). The relationship between evolution of the Asian monsoon, the formation of the Northern Hemisphere glaciations and the uplift of Tibetan plateau[J]. China Basic Science, 2001(8): 9-11(in Chinese)
- [2] Cerling T E, Harris J M, Macfadden B J, et al. Global vegetation change through the Miocene/Pliocene boundary[J]. Nature, 1997, 389: 153-158.
- [3] Department of Geography, Northwest Teachers College. Atlas of Physical Geography[M]. Beijing: Cartographic Publishing House, 1984.
- [4] Farquhar G D. Carbon dioxide and vegetation[J]. Science, 1997, 278: 411.
- [5] Farquhar G D, Wong S C. An empirical model of stomatal conductance[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1984, 11: 191-210.
- [6] Francey R J, Farquhar G D. An explanation of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  variations in the tree rings[J]. Nature, 1982, 297: 28-31.
- [7] Johnson B J, Miller G H, Fogel M L, et al. 65 000 years of vegetation change in central Australia and the Australian summer Monsoon[J]. Science, 1999, 284: 1150-1152.
- [8] Jolly Dominique, Haxelink Alex. Effect of low glacial atmospheric  $\text{CO}_2$  on tropical African montane vegetation[J]. Science, 1997, 276: 786-787.
- [9] Kerner C H, Farquhar G D, et al. A global survey of carbon isotope discrimination in plants from high altitude[J]. Oecologia, 1988, 74: 623-632.
- [10] Kerner C H, Farquhar G D, Wang S C. Carbon isotope discriminate by plants follows latitudinal and altitudinal trends[J]. Oecologia, 1991, 88: 30-40.
- [11] Kerner C H, et al. Evidence that plants from high altitudes retain their greater photosynthetic efficiency under elevated  $\text{CO}_2$ [J]. Funct Ecology, 1994, 8: 58.
- [12] Lixiangbo, Chen Jianfa, et al. The characteristics of carbon isotope composition of modern plants over Qinghai-Tibet Plateau (NE) AND its climatic information[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 6: 325-329(in Chinese).
- [13] Houyua L, Guo Zhaoyan, Wu Naiqin, et al. Effect of altitude on the organic carbon isotope composition of modern surface soils from

- Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 2001(21): 399-406; (in Chinese).
- [14] Morecroft M D, Woodward F I. Experimental investigations on the environmental determination of  $^{13}\text{C}$  at different altitudes [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1990, 41: 1303-1308.
- [15] O'Leary M H. Carbon isotopes in photosynthesis [J]. *BioScience*, 1988, 38(5): 328.
- [16] Stuiver Minze, Braziunas Thomas F. Tree cellulose  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  isotope ratios and climatic change [J]. *Nature*, 1987, 328: 58-60.
- [17] Street-Perrott FA, Huang Y S, Perrott R A, et al. Impact of lower atmospheric carbon dioxide on tropical mountain ecosystems [J]. *Science*, 1997, 278: 1422-1426.
- [18] Su Bo, Han Xingguo, Li Linghao, et al. Responses of  $^{13}\text{C}$  value and water use efficiency of plant species to environmental gradients along the grassland zone of northeast China transect [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(6): 648-655 (in Chinese).
- [19] Tieszen L L, et al. The distribution of  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$  grasses and carbon isotope discrimination along an altitude and land moisture gradient in Kenya [J]. *Oecologia*, 1979, 37: 337.
- [20] Wu Zhengyi, et al. *China Vegetation* [M]. Beijing: Science Press, 1980. 1051 (in Chinese).
- [21] Zhou Lusheng, et al. *Ecology and Environment of Yangtze-Huang-Lanchangjiang Rivers Source Region Natural Protection zone* [M]. Qinghai People's Press, 2002. 9-53 (in Chinese).

**ENVIRONMENTAL INFORMATION FROM  
THE CHANGE OF  $^{13}\text{C}$  VALUES OF  
MODERN PLANTS IN QINGHAI-TIBETAN PLATEAU**

WANG Mou<sup>1</sup>, LI Yong<sup>1</sup>, ZHANG Yu-xiu<sup>1</sup>, LI Ya-lin<sup>1</sup>, HUANG Run-qiu<sup>2</sup>

(Institute of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract** Based on the analyses of Carbonate isotope composition of modern plant of the study area. The test results show that  $^{13}\text{C}$  values of *K. pygmaea* range from -25.63‰ to -27.95‰, -26.63‰ as average value; Mixed samples of *alp. Steppa* varies from -26.29 to -27.73, -27.04 as average. The values of *K. pygmaea* represent an increasing trend from South-east to North-west which consistent with the pathway of Plateau summer monsoon ( $r = 0.44603$ ,  $n = 29$ ,  $p < 0.05$ ); Samples from north part of the study area indicate a dryer trend from south to north and the  $^{13}\text{C}$  values show a significant correlation with latitude northward change. Carbonate isotope composition of modern plant is controlled by some factors like precipitation, temperature, pressure, light intensity, physiology and so on, the change of four samples are mainly ascribed to precipitation condition. We have setup the correlation between  $^{13}\text{C}$  values and the location of our samples which refers to some certain kinds of precipitation conditions, and at the same time, we believe we can get some environmental information through the research of modern plant Carbonate isotope composition.

**Key words:** Qinghai-Tibetan plateau; Modern plants; Carbonate isotope; Environmental information.