

中国北方 C₃ 植物碳同位素组成与年均温度关系

王国安^{1,2} 韩家懋² 周力平¹

(1.北京城市与环境学系,北京 100871 2.中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029)

提要 本文对不同温度条件下生长的藜、独行菜、魁蓟和平车前 4 种常见 C₃ 植物的 δ¹³C 进行了分析,结果发现这 4 种 C₃ 植物的 δ¹³C 组成都表现出随年均温度下降而变重的趋势,其中藜和独行菜的碳同位素组成对温度变化的响应相对要较其他两种植物强烈得多,同时还发现藜、独行菜和魁蓟的 δ¹³C 组成与年均温度有显著线性相关,平车前碳同位素组成与年均温度没有显著的相关性。表明藜、独行菜和魁蓟的 δ¹³C 组成可作为年均温度的替代性指标,平车前的 δ¹³C 组成不能作为年均温度的替代性指标。

关键词 C₃ 植物;碳同位素组成;年均温度

中图分类号:P597+.2 文献标识码:A 文章编号:1000-3657(2002)01-0055-03

陆生植物的光合作用有 3 种途径:C₃途径、C₄途径和 CAM 途径,相对应的植物被称为 C₃植物、C₄植物和 CAM 植物。绝大多数陆生植物为 C₃植物,C₄植物相对很少,CAM 植物更少。植物发生光合作用时,CO₂的固定过程要产生碳同位素分馏,结果表明,植物合成的有机物中普遍富集碳的轻同位素(¹²C)^[1]。植物的 δ¹³C 组成受气候环境因子的影响,其中温度是影响植物 δ¹³C 组成的一个重要气候因子^[2],因此,前人试图利用植物 δ¹³C 组成作为温度的替代性指标来追索过去气候变化。这方面的研究进行得较多,主要集中在对 C₃植物 δ¹³C 组成之上,尤其是对树木年轮的 δ¹³C 与温度关系进行过较多的研究^[3-8]。然而,植物 δ¹³C 组成与温度到底存在着什么样的关系目前还有争议。Pearman 等^[3],Tans 等^[5]人的研究表明植物 δ¹³C 组成与温度为正相关,而 Farmer^[6],Leavitt 等^[7]人的结果为负相关。因此,为了有效地利用植物 δ¹³C 作为温度的替代性指标来追索过去气候变化,有必要对植物 δ¹³C 组成与温度关系做进一步的研究。本文选择了若干种 C₃植物,分析了 δ¹³C 组成,以揭示 C₃植物的 δ¹³C 组成与温度间的关系;同时就不同植物种

的 δ¹³C 组成对温度变化的响应程度进行了探索,以此为利用植物 δ¹³C 组成来恢复过去气候提供依据。

1 样品和实验方法

样品采自北京郊区,陕西省的黄陵、洛川、长武和安塞,甘肃省的西峰、平凉、兰州、榆中、临夏和肃南,宁夏的固原和青海湟中等地,大致呈东西向延伸 1 600 km,南北约 300 km,年均温度从东部(北京)的 11.5℃ 逐渐下降到西部(肃南县)的 2.3℃。选择了车前科(Plantaginaceae)的平车前(*Plantago depressa*),

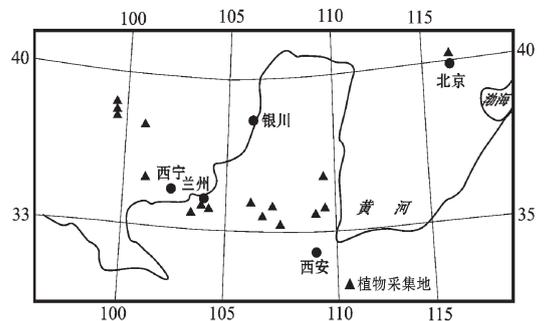


图 1 植物样品采集分布图

Fig. 1 Distribution of plant samples

收稿日期:2001-10-15;改回日期:2001-10-22

基金项目:国家自然科学基金项目(40072059)和国家自然科学基金重大项目(49894174)联合资助。

作者简介:王国安,男,1965年生,博士,主要从事全球环境与气候变化研究,现在北京大学从事博士后研究工作。

十字花科 (Cruciferae) 的独行菜 (*Lepidium petalum*)、藜科 (Chenopodiaceae) 的藜 (*Chenopodium album*) 和菊科 (Compositae) 的魁蓟 (*Cirsium leo*) 4种C₃植物种作为研究对象。这4种植物均为广适性的植物种,在我国北方(甚至南方)都较常见。

每一分析样品均由2~4株个体混合而成。尽量注意采集那些开阔平坦环境下生长的植物个体,从而避开了局部光照和水分的影响。样品用清水洗净、凉干,置于烘箱(80℃)中烘干,随机选取3~20片来自不同个体的成熟叶片磨碎。研磨后的样品,用燃烧法收集完全燃烧后产生的CO₂,用MAT-252质谱计分析碳同位素组成(表1、图2)。碳同位素组成的表达式为:

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

式中R_{样品}和R_{标准}分别表示样品和标准的碳同位素比值。同位素结果采用的是PDB标准。样品的前处理和分析均在中国科学院地质与地球物理研究所同位素室进行。分析误差≤0.2‰。

2 结果和讨论

(1) 4种植物的碳同位素组成均有随着年均温度降低而逐渐变重的趋势,但程度不同(图2);

(2) 独行菜、藜、魁蓟和平车前的碳同位素组成与年均温度的线性回归方程分别是:

$$y = -0.376x - 24.728 \quad (r = 0.85, n = 10)$$

$$y = -0.510x - 23.679 \quad (r = 0.89, n = 9)$$

$$y = -0.190x - 25.988 \quad (r = 0.89, n = 5)$$

$$y = -0.132x - 25.640 \quad (r = 0.43, n = 11)$$

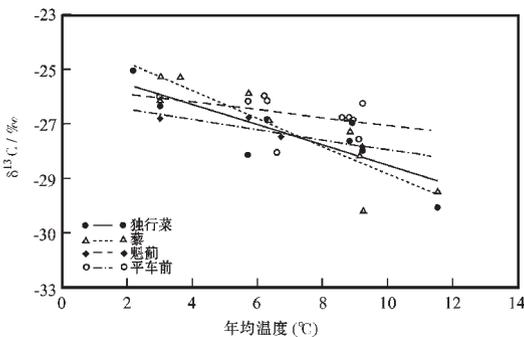


图2 植物的碳同位素组成与年均温度关系

Fig. 2 Relationships between carbon isotopic compositions of plants and annual average temperatures

表1 植物碳同位素组成
Table 1 Carbon isotopic compositions of plants

植物采集地	经度 /E°	纬度 /N°	年均温度 * /℃	δ ¹³ C/‰			
				独行菜	藜	平车前	魁蓟
北京	116.38	40.00	11.5	-30.0	-29.4		
洛川	109.40	35.70	9.2	-27.9	-30.1	-26.2	-27.8
西峰	107.67	35.70	8.9	-26.9		-26.8	
长武	107.73	35.20	9.1	-28.1	-28.1	-27.5	
安塞	109.33	36.75	8.8	-27.6	-27.2	-26.7	
平凉	106.67	35.55	8.6			-26.7	
临夏	103.20	35.60	6.3	-26.8	-26.8	-26.1	-27.2
固原	106.27	36.00	6.2			-25.9	
榆中	104.07	35.71	6.7	-27.4			-27.4
湟中	101.52	36.65	3.0		-25.2	-25.9	
兰州	103.83	36.00	6.6			-28.0	
肃南	99.63	38.51	2.2	-25.0			
肃南	99.63	38.71	3.0	-26.3	-26.0	-26.0	-26.7
肃南	99.63	38.81	3.6		-25.2		
山丹	101.00	38.16	5.7		-25.8	-26.1	-26.7

注:年均温度为1961~1990年的平均值。

式中y为碳同位素组成, x为年均温度。结果表明独行菜、藜和魁蓟的碳同位素组成与年均温度呈显著线性负相关,其中独行菜和藜与年均温度间的显著水平为99%,魁蓟的显著水平为95%。相对而言,前2种植物碳同位素组成与年均温度的关系要较后1种植物更紧密些。平车前的碳同位素组成与年均温度未达到显著相关。

温度是影响植物碳同位素分馏的重要气候因子^[2],它通过一系列的机制影响植物的碳同位素分馏。一方面温度可直接影响参与光合作用的酶的活动,从而会对植物的碳同位素分馏发生影响。另一方面温度可影响叶子的气孔导通系数(g)、CO₂的吸收率及c_i/c_a值(c_a、c_i分别是大气CO₂浓度、叶内气腔中CO₂浓度),从而影响植物的碳同位素分馏。至于说植物的碳同位素组成到底是怎样随温度变化的(变重还是变轻?),目前由于各学者测试的结果相互矛盾,还没有定论。而本文中4种植物碳同位素组成随温度的变化趋势是一致的,都随年均温度升高而变轻。

尽管所有植物的碳同位素组成都随年均温度变化表现出一致的趋势,但从图2中可以看出每条线的斜率有差别,独行菜、藜、魁蓟和平车前的斜率分别是-0.376、-0.510、-0.190、和-0.132,这表明年均温度每变化1℃,这4种植物的碳同位素组成分别变化0.38‰、0.51‰、0.19‰、和0.13‰,平均变化0.30‰,说明各植物种的碳同位素组成对温度变化的敏感程度不同。其中以平车前对温度变化的敏感程度最弱,

除在兰州和长武的同位素值有较大的变化外,在其他各种不同温度条件下,即在不同的样品采集地区同位素值都较接近,变化幅度很小;其次是魁蓟,对温度变化的响应相对也较弱;而独行菜和藜两种植物的碳同位素组成对温度的变化要比前两种植物敏感得多。由于藜、独行菜和魁蓟的碳同位素组成与年均温度呈显著负相关,因此它们的碳同位素组成可以作为年均温度的替代性指标,尤以藜和独行菜的碳同位素组成更适合,因为它们对温度响应更强烈。

笔者还对平车前的同位素组成与年均温度进行了非线性回归分析,也都未达到显著相关。这充分地说明了年均温度似乎不是影响平车前碳同位素组成的主要因子。究竟那种因子对平车前的碳同位素组成起决定作用,还有待于进一步研究。同时也表明平车前碳同位素组成不能作为年均温度的替代性指标。因此并不是所有 C₃ 植物种的碳同位素都能作为温度的替代性指标。

3 结 论

藜、独行菜、魁蓟和平车前这 4 种 C₃ 植物的 δ¹³C 组成都表现出随年均温度降低而变重的趋势。藜和独行菜的碳同位素组成对温度变化的响应相对要较其他两种植物敏感得多,年均温度每下降 1℃,碳同位素组成将分别变重约 0.51‰ 和 0.38‰。平车前碳同位素组成对温度变化的响应敏感性最差,年均温度每下降 1℃,碳同位素组成仅变重 0.13‰。

藜、独行菜、魁蓟的 δ¹³C 组成与年均温度有显著

线性相关,它们的碳同位素组成有可能作为年均温度的替代性指标。平车前的 δ¹³C 组成与年均温度没有显著相关性,它的碳同位素组成作为年均温度的替代性指标显然不合适。

植物鉴定由西北植物研究所吴振海副研究员完成,碳同位素分析由张福松和霍卫国高级工程师、陈建和曹洁工程师、蒋文毓老师完成,文中所引的气象数据来自国家气候资料中心,特此感谢。

参考文献:

- [1] Deines P. The isotopic composition of reduced organic carbon [A] In: Fritz P. and Fontes J. C. eds. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry I, The Terrestrial Environmental. Amsterdam: Elsevier, 1980. 329~406.
- [2] Francey R N and Farquhar G D. An explanation of ¹³C/¹²C variations in tree rings[J] Nature, 1982 297 28~31.
- [3] Pearman G I, Francey R J and Fraser P B. Climatic implications of stable isotopes in tree rings[J] Nature, 1976 260: 771~772.
- [4] Stuiver M, and Braziunas T F. Tree cellulose ¹³C/¹²C isotope ratios and climatic change[J] Nature, 1987 328: 58~60.
- [5] Tans P P and Mook W G. Past atmospheric CO₂ levels and ¹³C/¹²C ratios in tree rings[J] Tellus, 1980, 32 268~283.
- [6] Farmer J G. Problems in interpreting tree-ring δ¹³C records. Nature, 1979, 279: 229~231.
- [7] Leavitt S W and Long A. Evidence for ¹³C/¹²C fractionation between tree leaves and wood [J]. Nature, 1982, 298: 742~743.
- [8] Schleser G H, Helle G, Lucke A 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.

The annual average temperature in northern China

WANG Guo-an^{1,2}, HAN Jia-mao², ZHOU Li-ping¹

(1. Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Four common C₃ plant species—*Chenopodium album*, *Lepidium apetalum*, *Cirsium leo* and *Plantago depressa*—were sampled and their δ¹³C values were measured. The δ¹³C values of all the four plant species decrease with increasing annual average temperature, and the responses of the carbon isotopic compositions of *Chenopodium album* and *Lepidium apetalum* to temperature change are much more intense than those of *Cirsium leo* and *Plantago depressa*. Highly significant linear relationships between carbon isotopic compositions of *Chenopodium album*, *Lepidium apetalum* and *Cirsium leo*, but *Plantago depressa*, with annual temperature are observed. These results suggest that the δ¹³C values of *Chenopodium album*, *Lepidium apetalum* and *Cirsium leo*, but *Plantago depressa*, can be used as annual temperature proxies, and that *Chenopodium album* and *Lepidium apetalum* may be more suitable than *Cirsium leo*.

Key words: C₃ plant species; δ¹³C values; annual average temperature