

环境因子与植物体 $\delta^{13}\text{C}$ 值关系的研究

孙爱芝, 马玉贞*, 伍婧, 崔巧玉

(兰州大学资源环境学院地理系, 甘肃 兰州, 730000;

摘要: 通过总结主要环境因子对植物体 $\delta^{13}\text{C}$ 值影响, 认为大气 CO_2 浓度增加时, 植物体 $\delta^{13}\text{C}$ 值会下降; 光照增强, 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值增大; UV-B 增强时, 植物体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低; 温度、水分条件与植物体 $\delta^{13}\text{C}$ 值的关系, 至今还没有形成一致的意见, 作者认为可能与其研究区域、研究的植物种数量、种类、植物部分及叶片成熟度、采样时间的不同有关。

关键词: 环境因子 植物体 $\delta^{13}\text{C}$ 值

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6060 (2005) 04-0538-03

植物进行光合作用吸收同化 CO_2 的过程中, 通过碳同位素分馏在植物体内普遍富集碳的轻同位素 (^{12}C) [1, 2]。虽然植物通过呼吸作用或腐烂会把重的同位素 (^{13}C) 释放回大气中, 但是其贡献是很小的 [3]。可以说植物光合作用时所发生的同位素分馏是影响植物体 $\delta^{13}\text{C}$ 值的主要方面 [3, 4]。而影响植物体分馏作用的因素, 除植物本身遗传因素外, 还直接或间接地受植物生长时期的环境状况的影响。因而可以利用植物稳定碳同位素值的变化来研究环境因子的变化, 且已经有很多学者 [5, 6] 进行了研究。大部分学者涉及的环境因子有大气 CO_2 的浓度、大气 $\delta^{13}\text{C}$ 值、大气压力、光照、水分环境、温度、海拔等。他们的研究结果基本一致, 但在水分条件、温度对植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值影响的研究上存在不一致。本文在总结他人结果的基础上来浅谈两者之间关系的, 并对存在差异的可能原因加以分析。

1 环境因子与植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的研究

对于大气 CO_2 的浓度与植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值关系的研究结果较为一致, 认为大气 CO_2 浓度增加时, 植物体内 $\delta^{13}\text{C}$ 值会下降, 但下降的幅度有所不同。部分学者 [7, 8] 研究大气 $\delta^{13}\text{C}$ 值与植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的关系时, 认为随大气 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低, 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值也降低。部分学者 [9, 10] 研究 CO_2 分压对植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的影响也较多, 认为植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值随大气压力降低而增大, 但两者的关系并不十分显著。而 Korner [11] 在室内进行压力效应模拟后, 认为大气压力对植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的影响, 主要体现在 O_2 分压方面。作者认为大气 CO_2 的浓度、大气压力与植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的关系并不是简单的线性关系, 而可能是一种函数关系。

光照因素中有光强、光质与光照时间之分, 这

些均对植物分馏作用产生深刻的影响。大部分学者 [12~16] 的研究认为, 在弱光下, 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值较低, 随着光照的增强, 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值逐步增大。冯虎元 [17] 等人模拟结果显示, 当 UV-B 增强时, 大豆体内的 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低。作者认为到底光强、UV-B 辐射那个方面对植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的影响占优势, 还需要在以后的研究中定量探讨他们之间的关系。

温度是影响植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的重要因素。前人对这方面研究较多, 但主要集中在 C3 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系上。Tans [18] 等人的研究表明植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 组成与温度为正相关。而王国安 [19] 等人研究表明, C3 植物的碳同位素值与年均温呈显著负相关。苏波等人 [20] 测定了中国东北样带草原区 15 种常见植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值发现, 不同植物种对年均温度的变化有不同的响应。据 Schleser [21] 等人的总结, 不论温度与植物 $\delta^{13}\text{C}$ 的关系是正相关还是负相关, 每升高或降低 1°C , 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化都很小, 一般小于 0.3‰ , 但不同的植物其变化幅度存在差异。温度与植物体 $\delta^{13}\text{C}$ 值到底是什么关系, 至今还没有形成一致的意见, 这可能与所采样品的种类、数量、采样地区等因素不同有关。

水分供应不足或过量都有可能成为限制光合作用的因素, 但这种限制可能是由于水分亏缺或过量导致的 [22]。Ares [23] 等人对洋槐叶片的研究认为, 主要是气孔因素影响 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化。部分学者 [2, 20, 24] 对现代植物的研究发现, 随着降雨量、空气相对湿度增大, 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低, 但变化幅度不大。

Winter [25] 等人曾对小麦和草地早熟禾进行试验得出的结果是: 这两种 C3 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在高湿度条件下较低湿度明显偏正。值得指出的是, 他的结果是在人工胁迫的环境下得出的, 在实验中排除了

收稿日期: 2004-08-08; 修改日期: 2005-01-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40171094) 资助。

作者简介: 孙爱芝 (1979—), 女, 山东章丘人, 现为兰州大学博士研究生, 主要从事古生态与环境变化研究。E-mail: sunazh02@st.lzu.edu.cn

通讯地址: yzhmaj@lzu.edu.cn

其他气候环境因子的影响,所以作者认为结果比较可靠。而水分环境对植物碳同位素值的影响不仅仅表现在降水量、空气湿度,也表现在土壤含水量。如 Ares^[23]、陈拓^[10]等人研究发现植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与土壤含水量为正相关。而严吕荣^[26]等人的研究发现,两者为负相关。不过他们研究结果都显示土壤含水量对植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的贡献量相对较少。因此研究干旱半干旱地区水分状况与植物稳定碳同位素的关系是非常有意义的,特别是尝试用植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值定量描述古环境水分状况也是值得进一步研究的。

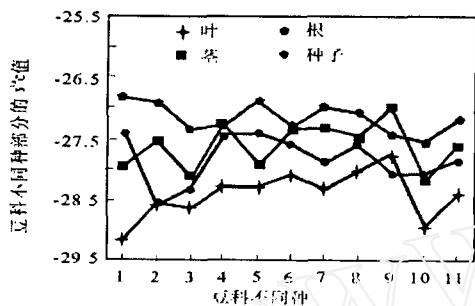


图1 豆科不同种不同部分的值(数据来自^[17])
Fig.1 $\delta^{13}\text{C}$ value of different gen. and different parts

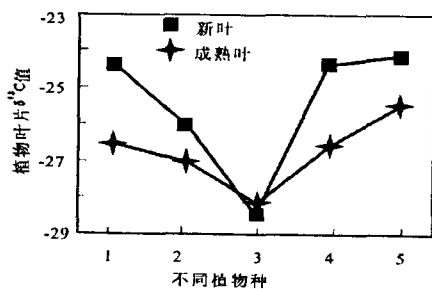


图2 不同植物新、旧叶的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化(数据来自^[26])
Fig.2 $\delta^{13}\text{C}$ values of different-aged leaves

2 结果分析

通过分析发现,大部分学者的研究基本一致,但也有一些研究结果存在不同,如温度、水分环境与植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的关系时,其结果甚至相反。基于这些问题,作者认为可能有以下几个原因:一方面与研究区域不同有关,如有热带、亚热带、也有干旱半干旱地区、高海拔与低海拔区等。由于研究区域的气候类型不同,可能会导致植物体 $\delta^{13}\text{C}$ 值对不同气候的响应存在差异。如苏波^[18]等人对植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值研究发现,即使是同属不同种的植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值随年均降水量、平均温度、海拔高度的变化,存在差异,甚至相反;另一方面可能与研究的植物数量、种类、植物部分(图1)、叶片成熟度(图2)及采样时间(图3)不同有关。归纳起来,作者认为,如果研究单个环境因子与植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的关系时,最好的条件是在人工胁迫的环境下进行,因为某一个因子可能会

使植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化 1‰,但是多个因子的综合则可能导致植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值至少变化 2‰^[25]。但还要认识到不同植物本身存在的差异性,可能会比环境变化引起的差异大。由此可见,对植物本身 $\delta^{13}\text{C}$ 值与环境因子的研究还需要进一步探讨。

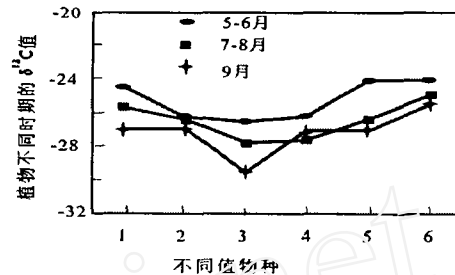


图3 不同取样时期的植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值(数据来自^[26])
(Fig.3 The mean foliar $\delta^{13}\text{C}$ values of tree and shrub species at different time of sampling)

3 结论

综上,影响植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的环境因子很多、很复杂。所以为了有效的利用植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化反演过去环境气候信息,还需要做深入的研究。并与其他气候指标作横向对比,这样才能为更准确的研究古气候、古环境提供较为精确的指标。

参考文献 (References)

- [1] Zheng Yongfei, Chen Jiangfeng. Stable Isotope Geochemistry[C]. Beijing: Science Press. 2000, 194. [郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[C]. 北京: 科学出版社. 2000, 194.]
- [2] Wang Guo an. Han Jia mao. $\delta^{13}\text{C}$ Variations of C3 Plants in Dry and Rainy Seasons[J]. Mame Geology & Quaternary Geology, 2001, 21 (4): 43-47. [王国安. C3 植物碳同位素在旱季和雨季中的变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21 (4): 43-47]
- [3] Duan Xiao nan, Wang Xiao ke, Feng Zhaozhong, et al. Study on the Photosynthetic and Transpiration Properties of Wild *Phragmites australis* in the Wuliangshai Lake. Inner Mongolia[J]. Arid Land Geography, 2004, 27 (4): 637-641. [段晓南, 王效科, 冯兆忠, 等. 乌梁素海野生芦苇光合和蒸腾特性研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27 (4): 637-641.]
- [4] Sun Li, Chen Xi, Bao Anmin, et al. Analysis of Correlation for Cotton Leaf Hyperspectral Data and Physiology Parameters in Different Growing Stage[J]. Arid Land Geography, 2004, 27 (1): 124-127. [孙莉, 陈曦, 包安, 等. 棉花各生长期高光谱数据与叶片生物物理生物化学量的相关分析[J]. 干旱区地理, 2004, 27 (1): 124-127.]
- [5] Luiz A Martinelli. Stable carbon isotope variation in C₃ and C₄ plants along the Amazon River[J]. Nature, 1991, 353, 57-59,
- [6] Gregg R Dacidson. The stable isotopic composition and measurement of carbon in soil CO₂[J]. Geochimica of Comochimica Acta. 1995, 59 (12): 2485-2489
- [7] Jiang Gaoming. Huang Yinxiao. A Study on the $\delta^{13}\text{C}$ Values of Tree Rings and Their Indicative Functions in Revealing Atmospheric CO₂ Changes in North China[J]. Acta Phytocologica Sinica, 1997, 21 (2): 155-160. [蒋高明, 黄银晓, 万国江, 等. 树木年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值及其对我国北方大气 CO₂ 浓度变化的指示意义[J]. 植物生态学报, 1997, 21 (2): 155-160].

- [8] Feng X, Epstein S. Carbon isotopes of trees arid environments and implications for reconstructing atmospheric CO₂ concentration[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59: 2599-2608
- [9] 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
- [10] Chen Tuo, Yang Meixue, Feng Huyuan, et al. Spatial Distribution of Stable Carbon Isotope Compositions of Plant Leaves in the North of the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25 (1): 83-87. [陈拓, 杨梅学, 冯虎元, 等. 青藏高原北部植物叶片碳同位素组成的空间特征[J]. *冰川冻土*, 2003, 25 (1): 83-87.]
- [11] Komer Ch, Farquhar G D, Wang S C. Carbon isotope discrimination by plants follows latitudinal and altitudinal trends[J]. *Oecologia*, 1991, 88: 33-40.
- [12] Li Xiangbo, Chen Jianfa, Zhang Pingzhong, et al. The Characteristics of Carbon Isotope Composition of Modern Plants over Qinghai Tibet Plateau (NE) and Its Climatic Information. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17 (2): 325-329. [李相博, 陈践发, 张平中, 刘光秀. 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[J]. *沉积学报*, 1999, 17 (2): 325-329]
- [13] Yu Guirui, Global change. carbon cycle and storage in terrestrial ecosystem[M]. Beijing: Meteorology Press, 2003. 110-112. [于贵瑞主编. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳累积[M]. 北京: 气象出版社, 2003. 110-112.]
- [14] Ramesh R, Bhattacharya S K, Gopalan K. Climatic correlations in the stable isotope records of silver fir trees from Kashmir[J]. *India Earth and Planetary Sci Lett*, 1986, : 66-74
- [15] Zimmerman J K, Ehleringer J R. Carbon isotope ratios are correlated with irradiance levels in the Panamenian orchid *Catasetum viridiflavum*[J]. *Oecologia*, 1990, 83: 247-249
- [16] Lin Zhifang, Lin Guizhu, Kong Guohui. Effect of Growth Irradiance on Stable Carbon Isotope Ratio. Intercellular CO₂ Concentration and Water-Use Efficiency of Two Woody Plant in Subtropical Natural Forest[J]. *Jurnal of Tropical and Subtropical Botany*, 1995, 3 (2): 77-82. [林植芳, 林桂珠, 孔国辉. 生长光强对亚热带自然林两种木本植物稳定碳同位素比、细胞间 CO₂ 浓度和水分利用效率的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 1995, 3 (2): 77-82.]
- [17] Feng Huyuan, Chen Tuo, Xu Shijian. Effect of Enhanced UV-B Radiation on Growth. Yield and Stable Carbon Isotope Composition in Glycine mas Cultivars[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(7): 709-713 [冯虎元, 陈拓, 徐世健, 安黎哲, 等. UV-B 辐射对大豆生长、产量和稳定同位素组成的影响[J]. *植物学报*, 2001, 43(7): 709-713.]
- [18] Tans P P, Mook W G. Past atmospheric CO₂ levels and ¹³C/¹²C ratios in tree rings[J]. *Tellus*, 1980, 32: 268-283.
- [19] Wang Guoan, Han Jiamao, Zhou Liping. The annual average temperature in northern China[J]. *Geology in China*, 2002, 29 (1): 55-57. [王国安. 中国北方 C₃ 植物碳同位素组成与年均温度的关系[J]. *中国地质*, 2002, 29 (1): 55-57.]
- [20] Su Bo, Han Xing Guo. Responses of $\delta^{13}\text{C}$ 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: 648-655. [苏波, 韩兴国. 中国东北样带草原区植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值及水分利用效率对环境梯度的相应 [J]. *植物生态学报*, 2000, 24: 648-655]
- [21] Schleser G H, Helle G, Lucke A, Vos H. Isotope signals as climate proxies: the role of transfer functions in the study of terrestrial archives [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1999, 18: 927-943.
- [22] Feng Xiaowei, Chen Xi, Bao an Ming, et al. Analysis on the Cotton Physiological Change and Its Hyperspectral Response Under the Water Stress Conditions[J]. *Arid Land Geography*, 2004, 27(2): 250-255. [冯宪伟, 陈曦, 包安明, 等. 水分胁迫条件下棉花生理变化及其高光谱响应分析[J]. *干旱区地理*, 2004, 27 (2): 250-255.]
- [23] Ares A, Fownes J H. Water supply regulates structure, productivity, and water use efficiency of *Acacia koa* forest in Hawaii[J]. *Oecologia*, 1999, 121: 458-466
- [24] Chen Tuo, Ma Jian, Feng Huyuan. Environmental Analysis of Stable Carbon Isotope Values in Typical Desert C₃ Plants of the Fukang. Xinjiang[J]. *Arid Land Geography*, 2002, 25 (4): 342-345. [陈拓, 马建, 冯虎元, 等. 阜康典型荒漠 C₃ 植物稳定碳同位素值的环境分析[J]. *干旱区地理*, 2002, 25 (4): 342-345]
- [25] Winter K, Holtum J A M, Edwards G E, O'Leary M H. Effect of low relative humidity on $\delta^{13}\text{C}$ value in two C₃ grasses and in *Panicum milioides*, a C₃-C₄ intermediates species [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1982, 132: 88-91.
- [26] Yan Changrong, Han Xingguo, Chen Lingzhi. Foliar $\delta^{13}\text{C}$ Within Temperate Deciduous Forest: Its Spatial Change and Interspecies Variation[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1998, 40 (9): 853-859. [严昌荣, 韩兴国, 陈灵芝. 暖温带阔叶林主要植物叶片中 $\delta^{13}\text{C}$ 值的种间差异及时空变化[J]. *植物学报*, 1998, 40 (9): 853-859.]
- [26] Tim H E. Heat on Spatial, Species, and Temporal Variations in the ¹³C/¹²C ratios of C₃ Plants: Implications for Palaeodiet Studies[J]. *Journal Archaeologica Science*, 1999, 26: 637-649.

Environmental Factors and the $\delta^{13}\text{C}$ Values of Different Plant Species

SUN Ai-zhi, MA Yu-zhen, WU Jing, CUI Qiao-yu

(College of Natural Resources & Environment Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: After summarizing the effects of the main environmental factors on the $\delta^{13}\text{C}$ values of plants, in this paper it is considered that the $\delta^{13}\text{C}$ values of plants are decreased with the increase of atmospheric CO₂ concentration and UV-B but increased with the increase of illumination. There is no yet the agreement about the relationship between the $\delta^{13}\text{C}$ values of plants and the main environment factors including atmospheric conditions, air temperature, moisture (water use efficiency) and the altitude. It is considered that which may be related to the different selections in study areas, plant species and quantity, maturation degree of plant leaves, sampling time, etc. The environmental factors affecting the $\delta^{13}\text{C}$ values of plants are multiple and complicated. Therefore, it needs to be further lucubrated to effectively derive the information about the environmental and climate changes in the past by using the change of $\delta^{13}\text{C}$ values of plants. Moreover, the ideal parameters can be provided for studying the paleoenvironmental and paleoclimate changes by referring the related climatic parameters.

Key words: environment factor; $\delta^{13}\text{C}$ value of plant; illumination.