

# 中国 CO<sub>2</sub> 能源排放量与 CO<sub>2</sub> 大气浓度时空分布研究

廖秀英<sup>1</sup>, 王婷<sup>1</sup>, 程辉<sup>2</sup>, 付国红<sup>2</sup>

(1. 湖南科技大学 建筑与城乡规划学院, 湖南 湘潭 411201;  
2. 湖南科技大学 先进矿山装备教育部工程研究中心, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 针对全球范围内 CO<sub>2</sub> 排放量逐年增加, CO<sub>2</sub> 大气浓度逐年上升的现实, 基于国家能源统计数据(2006~2009年), 对中国各省区的 CO<sub>2</sub> 排放总量、排放强度进行计算, 并结合遥感反演的同期我国区域范围大气 CO<sub>2</sub> 柱体浓度数据, 通过分析发现两者的时空分布具有较大的相关性, 基于以省区为单位比较相关性, 表明化石燃料排放的 CO<sub>2</sub> 确实是 CO<sub>2</sub> 浓度变化的一个驱动因素.

**关键词:** CO<sub>2</sub>; 排放量; 浓度; 时空分布; 相关性

**中图分类号:** P951      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-9102(2014)03-0103-05

## Research on spatial and temporal distribution of carbon dioxide energy emission and concentration

LIAO Xiuying<sup>1</sup>, WANG Ting<sup>1</sup>, CHENG Hui<sup>2</sup>, FU Guohong<sup>2</sup>

(1. Schools of Architecture and Urban Planning, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;  
2. Engineering Research Center of Advanced Mining Equipment, Ministry of Education, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** It's a fact that both CO<sub>2</sub> emissions and CO<sub>2</sub> concentrations in the atmosphere increased year by year. Based on national energy statistics (2006~2009), the total CO<sub>2</sub> emissions and intensity of various provinces were gotten. Combined with remote sensing regional concentration of atmospheric CO<sub>2</sub> cylinder inversion data over the same period, the two had a greater correlation, which showed that fossil fuel emissions were indeed a driving factor for CO<sub>2</sub> concentration.

**Key words:** Carbon Dioxide; emission; concentration; spatial and temporal distribution; correlation

研究成果显示全球由于能源活动排放的 CO<sub>2</sub> 以 1.15 倍的年均速度增长, 从 20 世纪 90 年代初约  $5.5 \times 10^9$  t 增加到 2005 年末的约  $7.0 \times 10^9$  t 碳<sup>[1]</sup>. 目前由能源使用排放的 CO<sub>2</sub> 的计算方法主要采用 IPCC 的温室气体排放清单编制参考方法<sup>[2]</sup>. 中国和印度占全球能源消费净增长的 90%, 而以美国为首的经合组织国家的能源消费过去 5 年中第 4 次呈下降趋势, 数据显示 2012 年全球 CO<sub>2</sub> 排放量呈 1.8% 的速度增加, 速率比 2011 年低, 但是中国的情况比较严峻, 2012 年一次能源消费比 2011 年增加了

7.4%, CO<sub>2</sub> 排放量增加了 6.0%<sup>[3]</sup>. 为响应全球气候变暖的政策要求, 我国于 2009 年承诺, 到 2020 年中国碳排放强度比 2005 年降低 40%~50%<sup>[4]</sup>, 所以在能源消费的节能减排方面压力很大. 另一方面美国冒纳罗亚山 (Mauna Loa) 实时监测数据显示 2012 年 12 月份月均 CO<sub>2</sub> 大气浓度值为  $394.66 \times 10^{-6}$ , 而 2011 年 12 月份其值为  $392.17 \times 10^{-6}$ , 中国青海瓦里关实时监测数据显示相应时间月均 CO<sub>2</sub> 大气浓度分别为  $402.07 \times 10^{-6}$  和  $395.93 \times 10^{-6}$  (数据来源于美国国家海洋和大气管理局地球系统研究实验室全球

收稿日期: 2014-03-19

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(13JJ3088, 14JJ6034); 湖南省科技厅项目(2012TP4023-6, 2012TP4023-5); 湖南省自然科学基金湘潭市联合基金资助项目(12JJ9008)

通信作者: 廖秀英(1981-), 女, 湖南浏阳人, 博士, 讲师, 主要从事遥感图像处理与 GIS 相关的理论研究工作. E-mail: liaoxiuying99@163.com

监测 (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/>), 分别高  $7.41 \times 10^{-6}$  和  $3.76 \times 10^{-6}$ . 由此可见中国  $\text{CO}_2$  大气浓度远高于同期全球平均值. 那么分析与研究  $\text{CO}_2$  排放量与  $\text{CO}_2$  大气浓度的时空分布特征及其相关关系有助于提高节能减排方面的政策调控, 为国内各省区的碳税设置提供依据, 以达到有效减排.

利用能源统计数据分析  $\text{CO}_2$  排放区域特征的研究中, 发现我国有比较明显的东西差异<sup>[5]</sup>. 有学者对  $\text{CO}_2$  排放量估算方法进行过深入研究, 对比各种估算方法的差异与对结果的不同影响<sup>[6-7]</sup>. 有的学者从  $\text{CO}_2$  大气浓度控制目标的确定讨论碳排放权的分配<sup>[8]</sup>, 但是很少有将  $\text{CO}_2$  排放量与  $\text{CO}_2$  大气浓度从时空分布视角进行研究. 基于这两者在区域范围的时空分布是否存在直接的因果关系展开研究, 探讨两者之间的相关关系.

## 1 数据来源与计算方法

### 1.1 能源消费 $\text{CO}_2$ 排放量数据源与估算方法

采用的是政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 的参考方法, 具体参数见表 1, 所用数据为《中国能源统计年鉴》及中国 2007 版中国行政区划电子地图数据, 对我国 2006~2009 年各省市 CO<sub>2</sub> 排放总量、单位国土面积 CO<sub>2</sub> 排放量等指标进行计算与分析.

参考方法通过控制能源消费“入口”和“出口”, 比较有效地反映各地产生的碳排放量, 在国际碳排放中应用广泛. 计算方法如下, 表 1 列出了相关系数.

$$E_{\text{CO}_2} = \sum [(A_i \times e_i \times c_i) \times 10^{-3} - S_i] \times O_i \times \frac{44}{12}. \quad (1)$$

式中,  $E_{\text{CO}_2}$  为区域一年能源消费的  $\text{CO}_2$  排放总量;  $A_i$  某一类型能源一年的表观消费量;  $e_i$  为某类型能源的热量转化参数 (单位  $\text{TJ}/10^3\text{t}$ );  $c_i$  为某一类型能源的碳排放因子;  $S_i$  为非能源消费的固碳量;  $O_i$  为能源消费的碳化系数. 其中表观消费量的计算如式 (2):

$$A_i = O_i + I_i - E_i - B_i - R_i. \quad (2)$$

式中,  $A_i$  为一年中某一类型能源的静观消费量;  $O_i$

为一次能源的年产量;  $I_i$  为能源的进口量;  $E_i$  为能源的出口量;  $B_i$  为国际运输的航油与舟船所用能源总量;  $R_i$  为能源储备量.

IPCC 中提供的参考方法是基于国家层面来对全球各个国家的  $\text{CO}_2$  排放总量进行估算, 所以考虑的是总体概况. 它要求将能源分为一次能源和二次能源, 两者的计算稍有区别. 一般将数据分为: 一次燃料生产量 (除二次燃料产量外)、一次燃料和二次燃料进出口量、国际海运、航空用燃料、燃料库存变化量等, 对这些数据分析得出总的实际消费量, 这个消费量中还有一部分是用作原料加工而未燃烧没有  $\text{CO}_2$  排放, 所以这部分称作固碳燃料, 把这部分从消费量中减去即得到最终全氧化的量. 然后就是对其统一计量单位, 我国统计年鉴记录中使用的单位有“百万吨”, 也有“立方米”等, 得找相应的转换系数进行转换. 每一种类型的燃料其净热值 ( $\text{TJ}/\text{kt}$ )、含碳量 ( $\text{t C}/\text{TJ}$ )、碳化因子等是不一样的<sup>[9]</sup>, 用于计算的各参数数值如表 1 所示.

### 1.2 大气 $\text{CO}_2$ 浓度数据来源与计算方法

德国不莱梅大学针对 2002 发射的对地观测卫星 (ENVISAT) 上装载的扫描成像大气吸收光谱仪 (SCIAMACHY)<sup>[10]</sup> 数据, 利用他们研究开发的 WFM-DOAS 算法<sup>[11-12]</sup> 反演得到全球  $\text{CO}_2$  大气柱体浓度数据. 可以从他们的官方网站下载获得: <http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/>.

## 2 相关性分析

### 2.1 中国各省能源消费 $\text{CO}_2$ 排放量

基于前面的数据与方法, 得到 2006~2009 年中国各省的年均能源  $\text{CO}_2$  排放量, 由于数据统计口径差别, 本研究没有对台湾、澳门和香港地区进行分析处理.

从图 1 中可以看出全国能源消费导致的  $\text{CO}_2$  排放量各省存在很大的差异, 其中  $\text{CO}_2$  排放总量最大的 2 个省份是山东省和山西省, 山东省 2006~2009 年 4 年持续增长, 山西省后 2 年排放量有所减少. 排放量最少的 2 个省份分别是青海省和海南省.

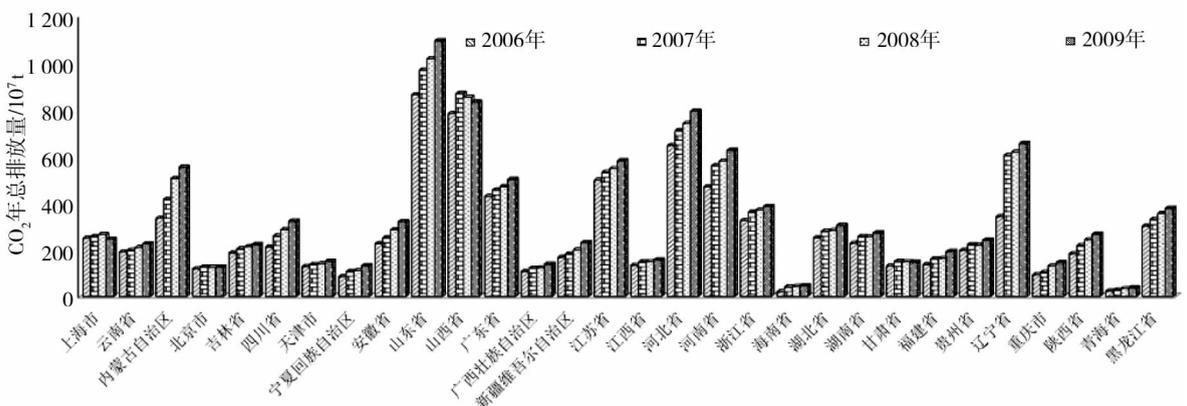


图 1 中国部分省 2006~2009 年能源消费年均  $\text{CO}_2$  排放总量图

表1 各类能源的3种估算参数表

化石燃料类型		能源转换系数/(TJ/kt)	碳排放因子/(tC/TJ)	碳氧化因子	
液体燃料	一次燃料	原油	42.62	20.0	0.98
	二次燃料	汽油	44.3	19.2	0.98
		煤油	44.1	19.7	0.98
		柴油	43.0	20.1	0.98
		燃料油	40.19	21.1	0.98
		液化石油气	47.00	17.4	0.98
		炼厂干气	48.15	18.2	0.99
		其它石油制品	40.19	20.0	0.98
	固体燃料	一次燃料	原煤	20.52	24.74
二次燃料		洗精煤	20.52	24.74	0.90
		其它洗煤	20.52	24.74	0.90
		型煤	20.52	24.74	0.90
		焦炭	28.20	29.50	0.97
焦炉煤气		38.70	13.00	0.98	
其它煤气		28.20	29.20	0.98	
气体燃料	天然气	48.00	15.30	0.99	

将以上排放量进行时空分布制图并与地图信息叠加,如图2所示。

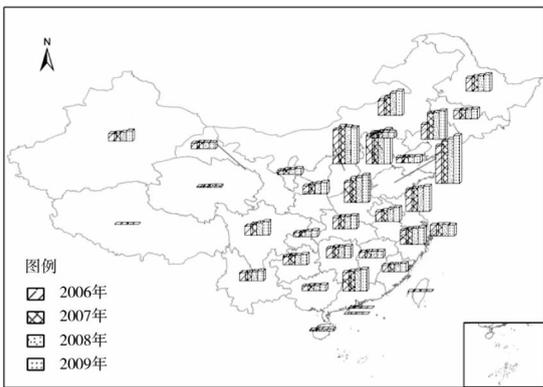


图2 2006~2009年中国各省能源 CO<sub>2</sub> 排放量时空分布

从图2中可见各省份排放量均呈逐年增加趋势,而且高排放主要集中在沿海地区和山西等部分内陆省份,主要形成了形成内蒙古—河北—辽宁—山东—江苏—浙江的高排放地带和珠江三角洲高排放区。

从图3中可以看出,碳排放密度最高的上海远远高于排放量位于第二和第三的天津与北京。环渤海地区和东部沿海地区的碳排放密度都比较高,中国西部地区的单位面积碳排放量极低。排放密度的总体由西向东呈增加分布,而且西部与东部沿海地区的差距非常大。

### 2.2 全国各省大气 CO<sub>2</sub> 浓度时空分布

基于 SCIAMACHY 卫星数据反演的是全球大气 CO<sub>2</sub> 月均浓度,在 ARCGIS 环境下,将月均浓度

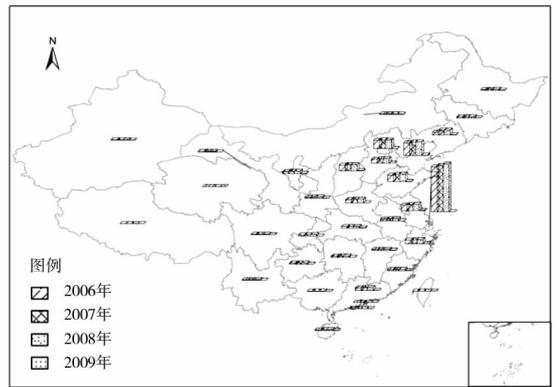


图3 2006~2009年中国各省 CO<sub>2</sub> 单位面积排放量时空分布图

进行数值分析处理得到年均浓度,然后将矢量数据转成栅格数据,再进行裁剪得到中国区域年均大气 CO<sub>2</sub> 浓度时空分布图,如图4所示。由于数据原因本次没有将台湾、澳门和香港地区进行分析处理。数据处理过程中遵循一个原则:数据整体分布服从正态分布,这样能有效地剔除极少数异常值,这对最后的成图有较大影响。

从图4可见,大气 CO<sub>2</sub> 浓度的高值区主要分布在塔克拉玛干沙漠及巴丹吉林沙漠地区,研究表明沙漠地区大气 CO<sub>2</sub> 浓度高的直接原因是旱生植物水分利用效率高<sup>[13]</sup>。其次浓度较高区域是四川盆地、长江中下游及东部沿海地区,而青藏高原、阿尔泰山、天山一带、西南地区、东北等地的 CO<sub>2</sub> 浓度值较低。因此除去特别干旱地区由于植物光合作用的原因外,其它大部区域大气 CO<sub>2</sub> 浓度是与人类活动、人口密度、社会经济紧密相关的。

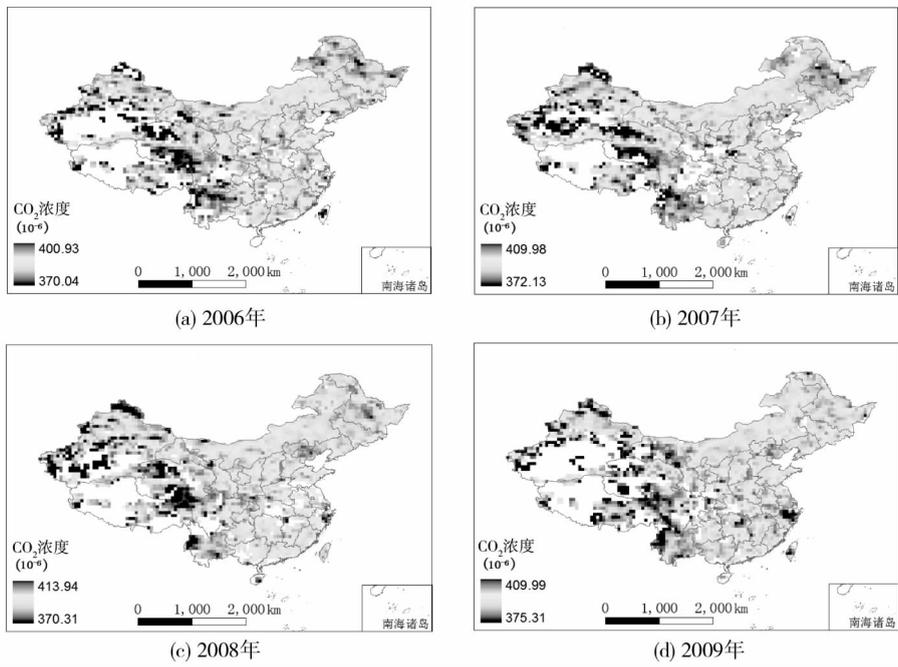


图4 2006~2009年中国年均CO<sub>2</sub>浓度空间分布图

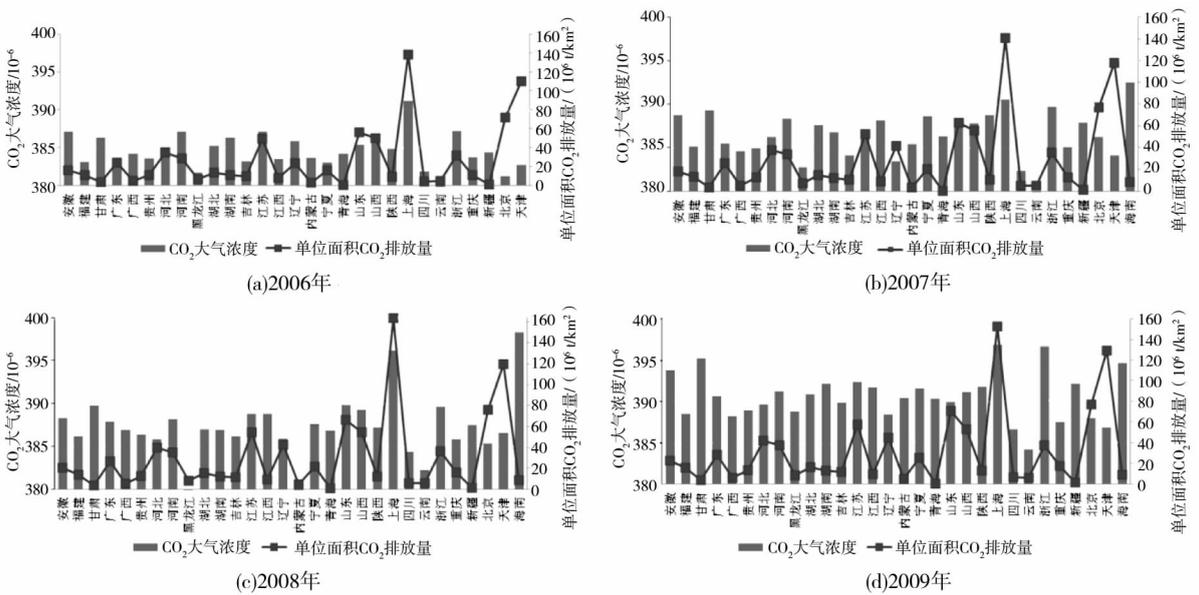


图5 CO<sub>2</sub>单位面积排放量与CO<sub>2</sub>大气浓度相关图

### 2.3 相关性分析

针对2006~2009年分省计算的CO<sub>2</sub>排放量与各省面积的比值再与各省2006~2009年大气CO<sub>2</sub>年均浓度的关系如图5所示,总体上比较两者的相关系数不大.2006~2009年4期两者相关系数分别为0.39,0.18,0.32和0.14,且只能通过95%的置信度检验,但如果把北京、天津两市与新疆维吾尔自治区排除在外,其它各省CO<sub>2</sub>排放量、面积的比率与CO<sub>2</sub>浓度的相关系数4期分别为0.74,0.45,0.56和0.65,且通过99%的置信度检验,能

源消费排放CO<sub>2</sub>总量对大气CO<sub>2</sub>浓度有一定的影响,也表明能源消费排放的CO<sub>2</sub>确实是大气CO<sub>2</sub>浓度变化的一个驱动因素.

### 3 结论

通过对能源消费CO<sub>2</sub>排放量、能源CO<sub>2</sub>单位面积排放量、年均CO<sub>2</sub>反演浓度数据的计算及其时空分析;并在此基础上对单位面积能源CO<sub>2</sub>排放量和CO<sub>2</sub>反演浓度的相关性分析.得到如下结论:

1) 由各省份能源 CO<sub>2</sub> 排放量的时空分析可知,各省份能源 CO<sub>2</sub> 排放量均呈逐年增加趋势,高排放主要集中在沿海地区和山西等部分内陆省份,主要形成了形成内蒙古—河北—辽宁—山东—江苏—浙江的高排放地带和珠江三角洲高排放区。

2) 由能源 CO<sub>2</sub> 单位面积排放量的时空分布得知,碳排放密度最高的是上海,其次是天津与北京,环渤海地区和东部沿海地区的碳排放密度也都比较高。排放密度的总体由西向东呈增加分布,而且西部与东部沿海地区的差距非常之大。

3) 年均 CO<sub>2</sub> 反演浓度高的采样点一般分布在甘肃、新疆及东部沿海地区,而且各地的 CO<sub>2</sub> 浓度值每年都在增加。

4) 单位面积能源 CO<sub>2</sub> 排放量对 CO<sub>2</sub> 浓度存在一定的影响关系,化石燃料排放的 CO<sub>2</sub> 确实是 CO<sub>2</sub> 浓度变化的一个驱动因素。

#### 参考文献:

- [1] Cubasch U, Ding Y H, Mauritzen C, et al. Climate change 2007 – the physical science basis: working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC [M]. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, et al. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [C]// Global Environmental Strategies. Hayama, Kanagawa, Japan: IPCC, 2006.
- [3] Amoco B. BP amoco statistical review of world energy [M]. Boston: Roberstons Stephens, 1999.
- [4] 姚愉芳, 依绍华. 中国能源温室气体排放与可持续发展 [J]. 中外能源, 2010(3): 1–8.
- [5] 曲建升, 王琴, 陈发虎, 等. 我国二氧化碳排放的区域分析 [J]. 第四纪研究, 2010, 30(3): 466–472.
- [6] 杨喜爱, 崔胜辉, 林剑艺, 等. 能源活动 CO<sub>2</sub> 排放不同核算方法比较和减排策略选择 [J]. 生态学报, 2012, 32(22): 7135–7145.
- [7] 蒋金荷. 中国碳排放量测算及影响因素分析 [J]. 资源科学, 2011, 33(4): 697–604.
- [8] 丁仲礼, 段晓男, 葛全胜, 等. 2050 年大气 CO<sub>2</sub> 浓度控制: 各国排放权计算 [J]. 中国科学 D 辑, 2009, 39(8): 1009–1027.
- [9] Kazunari K. Revision of default net calorific value, carbon content factor and carbon oxidization factor for various fuels in 2006 IPCC GHG inventory guideline [M]. Osaka: Oriental Press, 2005.
- [10] Strow L L, Hannon S E, Souza – Machado D, et al. An overview of the AIRS radiative transfer model [J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 2003, 41(2): 303–313.
- [11] Buchwitz M, Rozanov V V, Burrows J P, et al. A near – infrared optimized DOAS method for the fast global retrieval of atmospheric CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, and N<sub>2</sub>O total column amounts from SCIAMACHY Envisat – 1 nadir radiances [J]. Journal of Geophysical Research – Atmospheres, 2000, 105(15): 15231–15245.
- [12] Buchwitz M, Beek R, Noël S, et al. Carbon monoxide, methane and carbon dioxide columns retrieved from SCIAMACHY by WFM – DOAS: year 2003 initial data set [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2005, 5(12): 3313–3329.
- [13] Jin V L, Evans R D. Microbial <sup>13</sup>C utilization patterns via stable isotope probing of phospholipid biomarkers in Mojave Desert soils exposed to ambient and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> [J]. Global Change Biology, 2010(16): 2334–2344.