

UC Irvine

UC Irvine Previously Published Works

Title

Impacts of errors in meteorological simulations on estimation of isoprene emission

Permalink

<https://escholarship.org/uc/item/1t66v10h>

Journal

Huanjing Kexue Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae, 30(12)

ISSN

0253-2468

Authors

Situ, S

Wang, X

Guenther, A

et al.

Publication Date

2010-12-01

Copyright Information

This work is made available under the terms of a Creative Commons Attribution License, available at <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Peer reviewed

司徒淑婷, 王雪梅, Alex GUENTHER, 等. 2010. 气象模拟误差对异戊二烯排放估算的影响[J]. 环境科学学报, 30(12): 2383 - 2391
Situ S P, Wang X M, Alex Guenther, et al. 2010. Impacts of errors in meteorological simulations on estimation of isoprene emission[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 30(12): 2383 - 2391

气象模拟误差对异戊二烯排放估算的影响

司徒淑婷¹, 王雪梅^{2,*}, Alex GUENTHER³, Fei CHEN³, 柴子为⁴, 吴志勇², 李志琴¹

1. 广州市环境保护科学研究院, 广州 510620
2. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275
3. National Center for Atmospheric Research (NCAR), USA
4. 广东省环境监测中心, 广州 510045

收稿日期: 2010-04-27 修回日期: 2010-07-21 录用日期: 2010-07-26

摘要: 利用 MEGAN 模式估算了珠三角地区 2006 年异戊二烯的排放情况, 并设计了两组敏感性实验深入探讨了气象模拟误差对异戊二烯排放的影响。估算结果显示, 2006 年珠三角地区异戊二烯的排放量为 95.56×10^6 kg (以 C 计), 且主要分布在珠三角地区周边植被覆盖较高的地方; 受气象条件季节变化的影响, 异戊二烯的排放表现出显著的季节和日变化特征, 最大异戊二烯排放通量季节出现在夏季, 为 $0.920 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ (以 C 计), 最大排放速率均出现在 13:00。敏感性实验结果显示, 气象模拟误差能显著影响异戊二烯的排放, 升高(降低)太阳辐射的输入, 异戊二烯的排放量增加(减小)36.20% ~ 50.70% (30.73% ~ 41.88%), 大于温度改变引起的排放量变化; 升高(降低)气象输入并不会改变异戊二烯排放的日变化特征, 但能显著影响排放速率的大小。上午 8:00 或下午 17:00, 异戊二烯排放速率的改变最为明显。

关键词: 异戊二烯; 珠三角地区; 气象模拟误差

文章编号: 0253-2468(2010)12-2383-09 中图分类号: X511 文献标识码: A

Impacts of errors in meteorological simulations on estimation of isoprene emission

SITU Shuping¹, WANG Xuemei^{2,*}, Alex GUENTHER³, Fei CHEN³, CHAI Ziwei⁴, WU Zhiyong², LI Zhiqin¹

1. Guangzhou Research Institute of Environmental Science, Guangzhou 510620
2. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat - sen University, Guangzhou 510275
3. National Center for Atmospheric Research (NCAR), USA
4. Guangdong Environmental Monitoring Center, Guangzhou 510045

Received 27 April 2010; received in revised form 21 July 2010; accepted 26 July 2010

Abstract: The MEGAN model was used to quantify isoprene emission in the Pearl River Delta (PRD) region for 2006. Two sensitive experiments were conducted in order to investigate the impacts of uncertainties in simulated, meteorological, near - surface weather elements on modeled isoprene emission. The results showed that the annual isoprene emission was 95.56×10^6 kg C in the PRD in 2006. Due to variations of meteorological conditions, the isoprene emission displayed a remarkable seasonal and diurnal variation. The highest seasonal emission flux was in summer with a value of $0.920 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$. Considering diurnal patterns, the highest emission rate was at 13:00 local time. The results of sensitive experiments revealed that errors in MM5-simulated meteorological elements significantly impacted isoprene emission while overestimated (underestimated) solar radiation could increase (decrease) the emission rate by 36.20% ~ 50.70% (30.73% ~ 41.88%), which was larger than changes caused by temperature. However, changes in meteorological inputs did not affect the diurnal pattern of isoprene emission, just the emission rate. The emission rate of isoprene changed mostly at 8:00 in the morning or at 17:00 in the afternoon.

Keywords: isoprene emission; Pear River Delta region; meteorological simulation errors

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 40875076, U0833001); 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (No. 2010CB428504); 美国大气研究中心 BEACHON 项目; 中央高校基本科研业务费专项资金资助

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40875076, U0833001), the National Basic Research Program of China (973) (No. 2010CB428504), the US National Center for Atmospheric Research BEACHON Program and the Fundamental Research Funds for the Central Universities

作者简介: 司徒淑婷 (1984—), 女, E-mail: yjxstsp2@163.com; * 通讯作者 (责任作者), E-mail: eeswxm@mail.sysu.edu.cn

Biography: SITU Shuping (1984—), female, E-mail: yjxstsp2@163.com; * **Corresponding author**, E-mail: eeswxm@mail.sysu.edu.cn

1 引言 (Introduction)

大气中挥发性有机化合物 (VOCs) 是影响臭氧生成的一种重要前体物 (王振亚等, 2005; 汪午等, 2008), 其主要来源有生物源 (BVOCs) 和人为源 (AVOCs). 研究表明, 在区域和全球尺度上, BVOCs 排放量已经远远超过了 AVOCs, 约占全球大气总 VOCs 年排放量的 90% (Guenther *et al.*, 1995); 同时, BVOCs 具有很强的大气反应活性 (王永峰等, 2005; 杨小琴等, 2006), 能迅速参与大气 O_3 和二次有机气溶胶的生成 (Hoffman *et al.*, 1996; Claey s *et al.*, 2004a, 2004b; Aaron *et al.*, 2007), 影响区域空气质量 (Wei *et al.*, 2007; Tanarit *et al.*, 2008; Curci *et al.*, 2008). 目前, 有关 BVOCs 的研究主要集中在以下几个方面: 植物 VOCs 的排放行为、化学组成和排放机理的研究; BVOCs 排放估算模式的开发和改善; 高时空分辨率区域 BVOCs 排放清单的建立及其对区域空气质量的影响 (Guenther *et al.*, 1995; 2000; 2006; Tanarit *et al.*, 2008a, 2008b).

BVOCs 主要包括异戊二烯 (Isoprene)、单帖烯 (Monoterpene) 和半倍帖烯 (Sesquiterpene), 其中, 异戊二烯的全球年排放量占总 BVOCs 的 50% 以上 (Guenther *et al.*, 1995). 国内对异戊二烯排放的基础性研究相对成熟, 不同植被种类的异戊二烯排放速率数据也相对完善 (张福珠等, 1994; 白郁华等, 1994, 1995; 赵美萍等, 1996; 牟玉静等, 1999; 王效科等, 2002; 赵静等, 2004; 王志辉等, 2003; 白建辉等, 2004; 2005). 珠江三角洲地处亚热带地区, 常年高温高湿, 拥有大量亚热带森林且以阔叶林为主, 十分有利于 BVOCs 的排放. 近年来, 珠三角地区 BVOCs 排放所引起的环境问题已开始受到当地政府和学者的普遍关注. 杨丹菁等 (2001) 对珠江三角洲马尾松、湿地松、黎蒴、尾叶桉、南洋楹、大叶相思和荷木的 BVOCs 排放速率进行了测定, 并推算出该地区 $9\text{km} \times 9\text{km}$ 网格化的森林 BVOCs 排放清单. 胡泳涛等 (2001) 根据国内部分树种 (桉树、马尾松、青冈栎、墨西哥柏、杨树和油松) 和世界各地植物 VOCs 标准排放因子的实测值, 计算得到了针叶林、阔叶林、灌丛和萌生矮林、草原和稀树灌木草原等 8 类植被类型 BVOCs 的标准排放因子, 同时结合中尺度气象模式 MM5, 首次建立了华南地区高时空分辨率 BVOCs 排放清单的估算方法, 并给出该地区一个典型夏季日的 BVOCs 排放情况. Zheng 等 (2010) 考

虑了珠三角地区的主要优势树种 (包括桉树、黎蒴、速相思、南洋楹、木麻黄、荷木、杉木、, 马尾松和湿地松) BVOCs 排放的实测情况, 利用 GloBEIS 模式初步估算了珠三角地区 2006 年 BVOCs 排放总量, 着重对模式参数和排放因子不确定性进行了研究. Tsui 等 (2009) 利用香港地区 13 个常见树种 BVOCs 的实测数据, 估算了香港地区 BVOCs 的排放情况. 研究表明, BVOCs 的排放是一个复杂的多因子作用过程, 气象条件、植物种类和生理状况、排放因子等因素都能对 BVOCs 排放的估算带来不同程度的不确定性影响 (Guenther *et al.*, 2000; Tsui *et al.*, 2009). 对于特定的区域, 物种的构成和排放因子是相对稳定的, 只有气象条件表现出相对强烈的动态变化, 因而成为影响 BVOCs 排放估算的关键因子, 特别是温度和太阳辐射. 目前, 所有 BVOCs 排放模式都是由气象数据驱动的, 但气象观测数据由于其空间分辨率低而无法满足区域高时空分辨率 BVOCs 排放清单建立的需求, 同时, 气象观测数据由于其时间的滞后性也无法满足模式预报的要求. 因此, 以气象模式的模拟结果作为 BVOCs 排放估算模式的气象驱动场是未来 BVOCs 排放估算发展的一种趋势, 而气象模拟结果的质量将直接影响 BVOCs 排放估算的结果, 进而影响 BVOCs 对当地空气质量影响的评估.

基于此, 本研究采用中尺度气象模式 MM5 和新一代自然源排放模式 MEGAN (Model of Emission of Gases and Aerosols Model), 以 2006 年为基准年, 利用全年逐时 MM5 模拟结果, 系统分析珠三角地区异戊二烯排放的时空变化特征及其与气象条件的关系. 在此基础上利用珠三角地区 22 个气象观测站的实测数据, 分析气象模拟结果的误差, 并通过敏感性试验定量研究不同季节气象参数模拟误差对 BVOCs 排放的影响. 以期对改善自然源排放估算的不确定性提供指导, 并为正确评估 BVOCs 排放对当地空气质量影响的不确定性提供基础数据.

2 研究方法 (Research method)

2.1 自然源排放模式 MEGAN

MEGAN 最小的空间分辨率为 1km , 能够满足全球和区域尺度的自然源排放估算的需要, 具有计算包括异戊二烯在内的 138 种自然源气体排放的能力, 其计算过程可以简单地用式 (1) 表示 (Guenther *et al.*, 2006; 司徒淑婷等, 2009).

$$E = \varepsilon \times \gamma \times \rho \quad (1)$$

式中, E 是气体排放量 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); ε 是标准状态 (Guenther *et al.*, 2006) 下的净排放因子 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); γ 是环境修正因子, 包括叶面积指数 (LAI)、叶龄、温度、太阳辐射、风速、相对湿度等对标准状态下气体排放的影响; ρ 是化学物质在植物冠层内的产生与损失因子, 在本研究中, ρ 设置为 1, 即设定为固定的冠层损失率。

2.2 气象变量的输入

本研究使用 MM5v3.7 模拟结果作为 MEGAN 运行的气象驱动。MM5 使用两重嵌套, 网格距分别为 12km 和 4km。垂直方向分 24 层, 第一层高度约为 18m, 模式顶气压设为 1.0×10^4 Pa, 采用 MRF 的 PBL 方案、KF 的积云参数化方案和 RRTM 的辐射方案。模拟的时间为 2006 年全年, 逐时输出模拟结果。

选取春、夏、秋、冬四季中较为典型的月份 (4 月、7 月、10 月、1 月), 以珠三角地区 22 个气象站 2006 年的观测资料对 MM5 模式中温度和太阳辐射的模拟结果进行验证。温度和太阳辐射的偏差、平均绝对误差和均方根误差均按公式 (2) ~ (4) 计算。

$$\text{BIAS} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (\text{sim} - \text{obv})}{m \times n} \quad (2)$$

$$\text{MAK} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n |\text{sim} - \text{obv}|}{m \times n} \quad (3)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (\text{sim} - \text{obv})^2}{m \times n}} \quad (4)$$

式中, BIAS、MAE 和 RMSE 分别代表偏差、平均绝对误差和均方根误差; n 是当月样本数; m 是气象站数目; sim 和 obv 分别是模拟和观测值。

由于异戊二烯的排放主要发生在白天, 因此, 本文仅给出了白天 (8:00 ~ 18:00) 的模拟验证结果 (表 1)。从表 1 可以看出, 珠三角地区白天温度具有明显的季节变化, 最低温度出现在 1 月, 最高温度出现在 7 月, 温差为 10.1°C , 约为年均温度 (24.4°C) 的 40.4%。珠三角地区全年太阳辐射相对稳定, 最低太阳辐射出现在 4 月, 最高太阳辐射出现在 10 月, 辐射差为 $55.5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 约为年均太阳辐射 ($254.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) 的 21.8%。与模拟数据相比较, 白天温度的模拟误差很小, 除 4 月外, 平均绝对误差都小于 1°C , 均方根误差都小于 2°C 。珠三角地区属于亚热带气候, 其春季是北半球冬季高压系统向副热带高压转换的季节, 4 月份温度模拟效果最差, 由此可以看出, MM5 对这一高压系统转换过程的表述能力并不是很好。太阳辐射的模拟值普遍高于观测值, 平均绝对误差介于 $36.6 \sim 148.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间, 主要是因为 MM5 并没有考虑气溶胶对太阳辐射的反馈机制 (Chen *et al.*, 2001)。总体而言, 本研究使用 MM5 的模拟结果合理, 可以作为 MEGAN 运行的气象参数输入。

表 1 MM5 气象模式模拟结果验证

Table 1 Verification statistics of MM5 simulated meteorological variables

气象参数	月份	平均值		偏差	平均绝对误差	均方根误差
		观测值	模拟值			
白天温度/ $^\circ\text{C}$	1 月	16.27	16.37	-0.01	1.55	1.97
	4 月	25.23	24.18	1.04	1.94	2.56
	7 月	29.57	29.72	-0.14	1.46	1.89
	10 月	26.37	27.03	-0.66	1.34	1.72
白天太阳辐射/ $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	1 月	247.9	284.5	36.6	97.3	126.9
	4 月	221.7	369.9	148.2	150.6	178.4
	7 月	272.8	330.5	57.7	96.8	115.8
	10 月	277.2	387.7	110.5	116.5	132.2

2.3 植被类型分布及其标准排放因子

除气象参数外, 植被类型分布 (Plant Function Type, PFT) 及其标准排放因子是 MEGAN 计算的重要输入。植被的分布具有较强的不均匀性, 这就要求 MEGAN 模式必须考虑这种不均匀性, 不能采用传统大气模式所采用的均匀、单一的陆面处理。

MEGAN 采用马赛克的非均匀下垫面处理, 允许在同一网格内存在多种植被类型的分布。为了实现与大型的大气化学模式的在线耦合, MEGAN 舍弃了以往生物源排放模式按树种分类的传统植被分类方法, 将地表植被整体划分成阔叶树、针叶树、灌木、庄稼和草 4 大类 (Guenther *et al.*, 2006), 并赋予

每一类植被类型相应的标准排放因子。

本研究采用遥感分类技术从2006年的TM影像中提取出珠三角地区不同植被类型分布资料(图1),该资料已经广东省林业局统计数据和野外实地调研验证(司徒淑娉等,2009)。图1结果显示,阔叶树是珠三角地区主要的植被分布类型,平均覆盖率为

24.2%,其次是庄稼和草,平均覆盖率为23.4%、针叶树平均覆盖率为18.0%、灌木平均覆盖率为7.7%。珠三角外围地区,如惠州、肇庆、江门和广州东北部是阔叶树、针叶树和灌木分布的集中地区,庄稼和草则呈现出相对连续的空间分布特征。

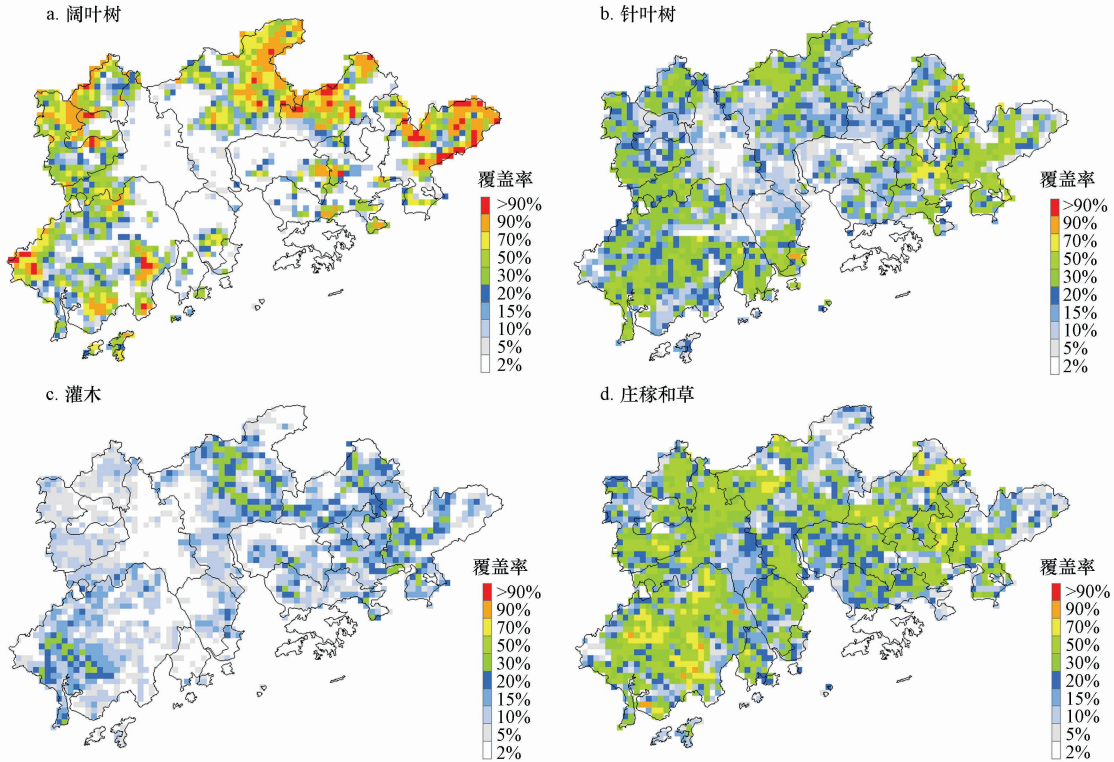


图1 珠三角地区4km分辨率下的植被类型分布

Fig. 1 Plant function type (PFT) distribution in the PRD with 4-km resolution

从公式(1)可以看出,标准状态的排放因子 ε 是MEGAN计算的关键变量.不同地区,由于植被构成和气候条件存在着差异,相同植被类型的异戊二烯标准排放因子也存在着差异.因此,在进行区域异戊二烯排放估算的时候,标准排放因子必须本地化.通过对国内外关于异戊二烯排放研究的文献进行调研(Wiedinmyer *et al.*, 2000; Tsui *et al.*, 2009; 胡泳涛等, 2001; 杨丹菁等, 2001; Klinger *et al.*, 2002; 王效科等, 2003; 赵静等, 2004; 闫雁等, 2005; Zheng *et al.*, 2010),结合珠三角地区实际的林业构成情况,估算出珠三角地区不同植被类型异戊二烯的标准排放因子,分别是阔叶树 $5200\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 、针叶树 $800\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 、灌木 $3850\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 、庄稼和草 $140\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$,处在同类型研究给出的数值范围内。

3 结果(Results)

3.1 估算结果

本研究估算了2006年珠三角地区($4\text{km}\times 4\text{km}$)异戊二烯的逐时排放情况(图2),统计得出该地区的异戊二烯年排放量为 $95.56\times 10^6\text{kg}$ (以C计),且主要分布在珠三角地区周边植被覆盖较高的地区。

本研究结果与珠三角地区、中国香港地区、中国、北美和全球其他国家同类型研究结果的对比列于表2.从表2可以看出,珠三角地区的异戊二烯年均排放通量为 $1.923\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$ (以C计),高于中国、北美和全球(陆地)年均异戊二烯排放通量.这主要是因为珠三角地区的植被覆盖面积、温度和太阳辐射都相对较高.本研究估算的异戊二烯年均排放通

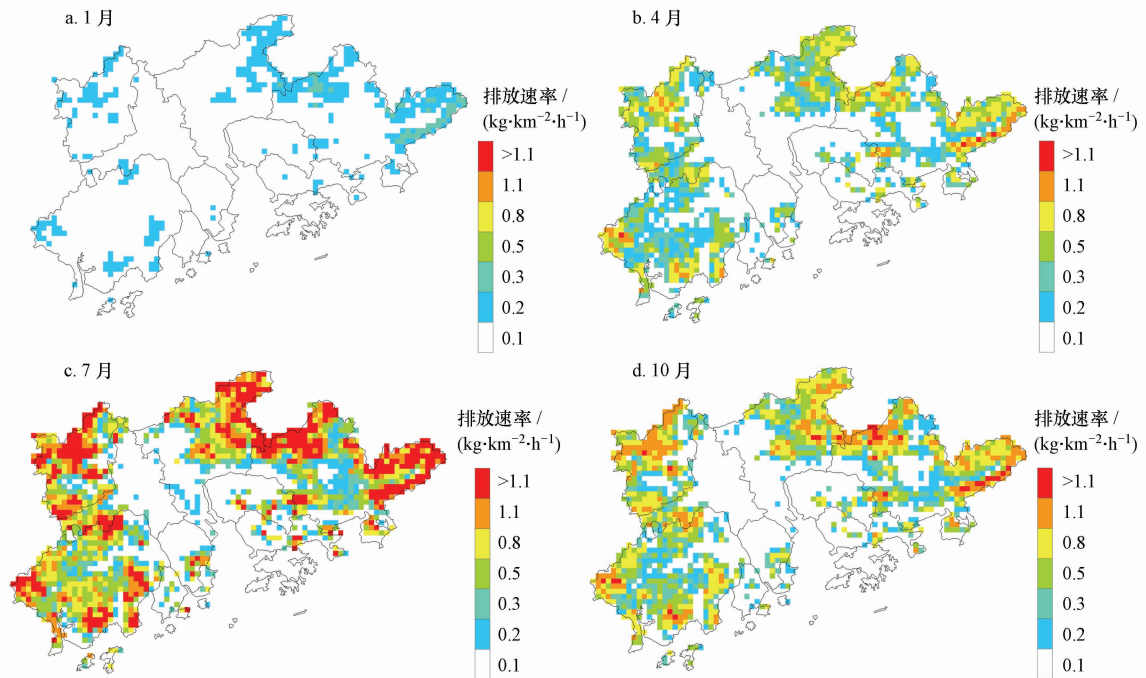


图2 1月、4月、7月、10月异戊二烯排放速率空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of isoprene emission rate in January, April, July and October

表2 异戊二烯平均排放通量

Table 2 Averaged isoprene emission flux

研究区		排放通量/ ($t \cdot km^{-2}$)	参考文献
珠三角地区	春季	0.396	本研究
	夏季	0.920	
	秋季	0.520	
	冬季	0.087	
	年均	1.923	
	年均	1.362	
中国香港	年均	2.364	Zheng <i>et al.</i> , 2010
	年均	2.364	Tsui <i>et al.</i> , 2009
中国	年均	0.423	Klinger <i>et al.</i> , 2002
	年均	0.802	Tie <i>et al.</i> , 2006
北美	年均	1.221	Guenther <i>et al.</i> , 2000
全球(陆地)	年均	3.426	Guenther <i>et al.</i> , 1995

量低于地理位置相近的香港,主要是由于香港的植被覆盖率高于珠三角地区(香港41%,珠三角地区37%)。Zheng等(2010)利用珠三角地区86个气象站一天4次的实际观测结果,运用GloBEIS模式对珠三角地区2006年BVOCs排放总量进行了估算,估算结果较本文研究结果低。在Zheng等(2010)的研究中,估算区域内每个网格的气象数据是实测气象数据通过反距离法插值得到,模式运行中的光合有效辐射(PAR)通过云量信息计算得到,叶面温度假设为大气环境温度。研究指出,植物冠层内的叶

面温度比大气环境温度普遍高出 $1 \sim 5^{\circ}C$ (Lamb *et al.*, 1993),因此,采用叶面温度为大气环境温度的处理方法,不可避免地降低了叶面温度,从而可能低估了BVOCs的排放量;同时,实测气象数据的低分辨率内插也会带来一定的误差,造成排放的低估。本研究MM5模拟的太阳辐射明显偏高也是造成本研究异戊二烯的排放估算结果高于Zheng等(2010)研究结果的一个原因。同时,Zheng等(2010)的研究表明,异戊二烯排放的估算结果存在 $-82\% \sim 177\%$ 的计算误差(即 $10.87 \times 10^6 \sim 163.42 \times 10^6$ kg,以C计),本研究的估算结果处在该误差范围内,因此,可认为本研究的估算结果与Zheng等的研究结果是一致的。

3.2 气象参数对排放的影响

温度和太阳辐射是MEGAN最重要的气象输入,可通过影响环境修正因子 γ 进而影响异戊二烯排放。受温度和太阳辐射季节变化的影响,异戊二烯表现出显著的季节变化特征(表2)。温度和太阳辐射都相对较高的夏季,珠三角地区异戊二烯排放通量最大,为 $0.920 t \cdot km^{-2}$ (以C计),约为冬季排放通量的10倍。

在气象条件的影响下,异戊二烯的排放还表现出显著的日变化特征。由图3可知,不同季节异戊二烯排放的日变化特征相似。白天异戊二烯的排放速

率随着太阳辐射和温度的升高而升高,最大的排放速率出现在 13:00 左右. 温度和太阳辐射都相对最高的 7 月,异戊二烯排放最为显著,最大排放速率为

$7.22 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ (以 C 计),是 1 月最大排放速率的 9.85 倍. 4 月和 10 月的异戊二烯排放速率介于 7 月和 1 月之间,分别为 $3.09 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $4.51 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$.

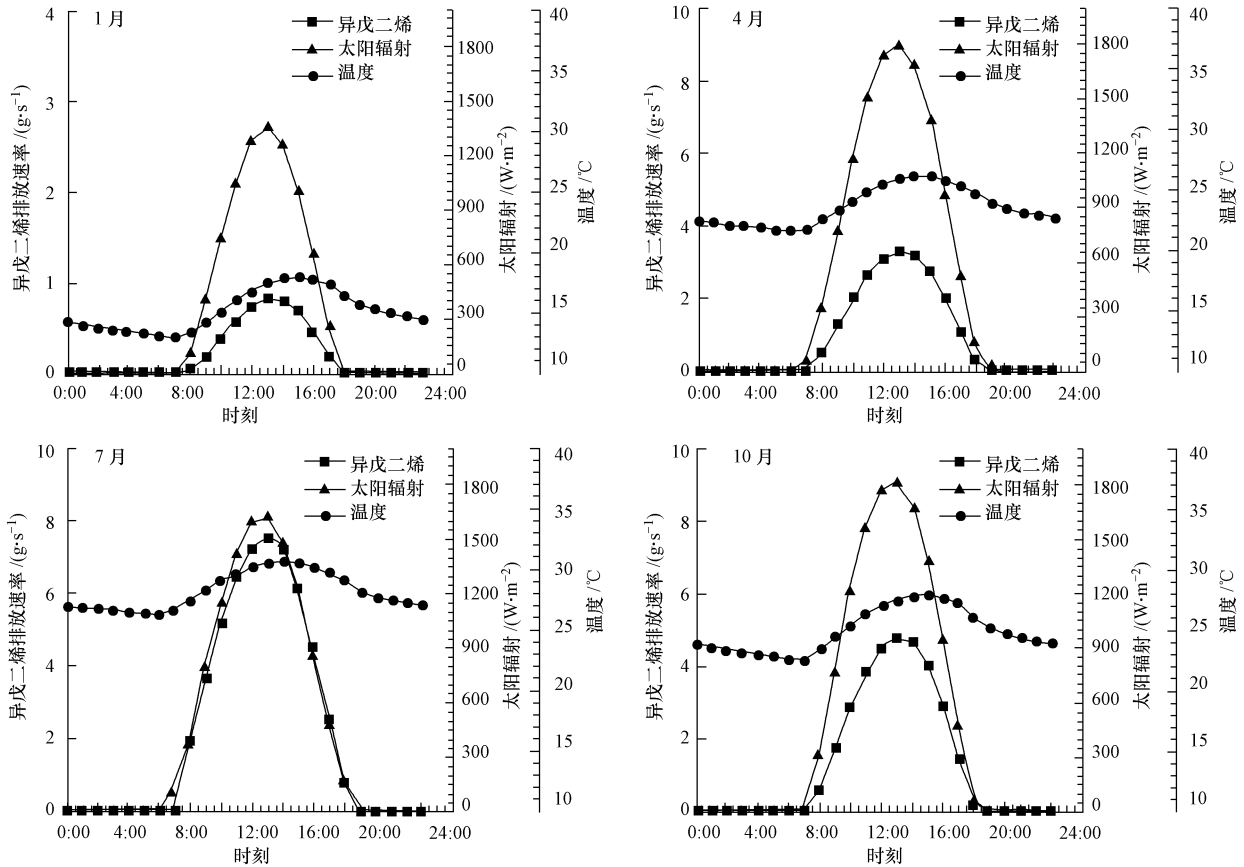


图 3 不同季节异戊二烯排放的日变化

Fig. 3 Diurnal variation of isoprene emission rate at different seasons

3.3 气象模拟误差对异戊二烯估算的影响

通常情况下, BVOCs 排放估算具有很高的不确定性 (Tsui *et al.*, 2008;). Guenther 等 (2000) 对北美地区 BVOCs 排放计算的不确定性达到 300%, Wang (2003) 等对北京地区 BVOCs 排放计算的不确定性也超过了 100%. 对于特定的模拟区域, 植被的构成和排放因子是相对稳定的, 而气象条件表现出相对强烈的动态变化, 成为影响 BVOCs 排放估算的关键因子, 特别是温度和太阳辐射.

本研究综合考虑 MM5 模式中四季温度和太阳辐射的模拟情况 (表 1) 和异戊二烯的日排放行为特点, 分别设计了两组敏感性, 以四季典型月 (1 月、4 月、7 月和 10 月) 为模拟时段, 通过增加 (减小) 白天的温度或太阳辐射的输入 (式 (5)、(6)), 研究不同季节温度或太阳辐射的模拟误差对异戊二烯排放的影响.

$$T = T_0 \pm T_{\text{RMSE}} \quad (5)$$

$$S = S_0 \pm S_{\text{RMSE}} \quad (6)$$

式中, T 为 MEGAN 输入的温度 ($^{\circ}\text{C}$); T_0 为 MM5 模拟的温度 ($^{\circ}\text{C}$); T_{RMSE} 为温度 (太阳辐射) 模拟验证的均方根误差 ($^{\circ}\text{C}$, 取值见表 1); S 为 MEGAN 输入的太阳辐射 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$); S_0 为 MM5 模拟的太阳辐射 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$); S_{RMSE} 为太阳辐射模拟验证的均方根误差 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

结果显示, 升高白天的温度输入, 1 月、4 月、7 月和 10 月异戊二烯排放量分别增加了 26.74%、32.34%、23.62% 和 21.44%; 降低白天的温度输入, 异戊二烯排放量分别下降了 21.72%、25.50%、19.20% 和 16.64%. 改变太阳辐射引起异戊二烯排放的改变更为显著. 升高太阳辐射的输入, 1 月、4 月、7 月和 10 月异戊二烯排放量分别增加了 50.70%、48.01%、36.20% 和 36.22%; 降低太阳辐

射的输入,异戊二烯排放量分别下降了 39.65%、41.88%、31.41% 和 30.73%。

改变白天温度或太阳辐射并不改变异戊二烯排放的日变化特征,但能显著地改变其排放速率的大小,特别是太阳辐射的改变.增加(减少)白天太阳辐射,1月、4月、7月和10月异戊二烯最大排放速率的分别上升(下降)37.54%(33.04%)、35.34%(34.36%)、24.99%(24.80%)和26.54%(24.69%)。增加(减少)白天温度输入,1月、4月、7月和10月异戊二烯最大排放速率分别上升(下降)25.90%(21.24%)、31.02%(24.89%)、22.78%(18.60%)和19.43%(16.87%)。可以看出,1月和4月的气象模拟误差引起的异戊二烯排放的变化最为显著,因此,在四季进行气象模拟的时候应该更多地改善冬春季的气象模拟结果。

统计在同一气象输入改变的条件下,不同时刻异戊二烯排放速率的改变情况,发现改变白天温度输入引起不同时刻异戊二烯排放速率的变化是相对稳定的.1月、4月、7月和10月升高(降低)白天的温度,异戊二烯排放速率的平均上升(下降)24.53%(19.81%)、33.67%(26.28%)、23.96%(19.44%)和21.09%(17.96%)。相反,太阳辐射输入的改变能引起不同时刻异戊二烯排放速率非常剧烈的变化.1月、4月、7月和10月白天异戊二烯排放速率分别上升(下降)114.49%(79.44%)、144.71%(77.47%)、209.58%(90.77%)和119.58%(81.00%)之间.这方面是因为异戊二烯的排放强烈地依赖于太阳辐射,另一方面,太阳辐射的日变化比温度更强烈.增加白天太阳辐射的输入,异戊二烯排放速率的最大上升比例出现在上午8:00或下午17:00.这主要是由于增加均方根误差后,这些时刻珠三角地区平均太阳辐射约为 $419.64 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (光合有效辐射约 $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),异戊二烯的排放速率基本处于最大而且相对稳定的状态.随后继续增大太阳辐射,异戊二烯的排放速率也会升高,但上升速率随着太阳辐射的增大而减小,13:00的上升速率达到最小.这说明了气象模拟误差引起异戊二烯排放速率的改变在上午或下午最为明显。

4 结论(Conclusions)

1)本研究以MM5的模拟结果为气象驱动,使用MEGAN估算出2006年珠三角地区异戊二烯的

排放量为 $95.56 \times 10^6 \text{ kg}$ (以C计),且主要分布在珠三角周边植被覆盖较高的地区.受气象变化的影响,异戊二烯的排放表现出显著的季节变化和日变化特征.夏季异戊二烯的排放通量最大,冬季最小.不同季节异戊二烯排放的日变化特征相似,白天随着太阳辐射和温度的升高而升高,13:00异戊二烯的排放速率达到最大,但排放速率存在量上的差异。

2)针对温度和太阳辐射的模拟误差,本研究设计了两组敏感性实验,研究气象模拟误差对异戊二烯排放的影响.结果发现,升高(降低)白天温度或太阳辐射能增加(减少)异戊二烯的排放,而且太阳辐射的改变对异戊二烯排放的影响更显著.升高(降低)太阳辐射的输入,异戊二烯排放量增加(减小)36.20%~50.70%(30.73%~41.88%)。改变气象输入并不影响异戊二烯排放的日变化特征,但能显著地改变异戊二烯的排放速率.改变输入温度,不同时刻异戊二烯排放速率的变化相对稳定,而太阳辐射输入的改变可引起不同时刻异戊二烯排放速率非常明显的变化.升高(降低)太阳辐射,能导致异戊二烯最大排放速率上升(降低)24.99%~37.54%(34.33%~24.69%),大于温度改变引起的排放变化.在同一气象输入改变的条件下,不同时刻异戊二烯排放速率的改变情况不同,最大的变幅出现在上午8:00或下午17:00,最小的变幅出现在13:00.这说明了气象模拟误差引起异戊二烯排放速率的改变在上午或下午最明显。

责任作者简介:王雪梅(1969—),女,博士,教授,主要从事大气环境与大气物理的研究. E-mail: eeswxm@mail.sysu.edu.cn.

参考文献(References):

- 白郁华,李金龙,张宝祥,等. 1994. 北京地区林木、植被排放碳氢化合物的定性监测[J]. 环境科学研究, 7(2): 49—54
- Bai Y H, Li J L, Zhang B X, et al. 1994. The qualitative determination of hydrocarbon emitted from woods and vegetations over Beijing area [J]. Research of Environmental Science, 7(2): 49—54 (in Chinese)
- 白郁华,李金龙,赵美萍,等. 1995. 杨树排放碳氢化合物的相关因素[J]. 环境化学, 14(2): 118—123
- Bai Y H, Li J L, Zhao M P, et al. 1995. Relative factor of hydrocarbons emission from popular tree [J]. Environmental Chemistry, 14(2): 118—123 (in Chinese)
- 白建辉,Bradly Baker. 2004. 热带人工橡胶林异戊二烯排放通量的模式研究[J]. 环境科学学报, 24(2): 197—203
- Bai J H, Bradly Baker. 2004. Model simulation of isoprene emission flux

- in a tropical forest plantation of rubber trees [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 24(2):197—203 (in Chinese)
- 白建辉,Bradly Baker. 2005. 内蒙古草原典型草地异戊二烯的排放特征[J]. *环境科学学报*,25(3):285—292
- Bai J H, Bradly Baker. 2005. Emission characteristics of isoprene at typical grassland in the Inner Mongolia grassland [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*,25(3):285—292 (in Chinese)
- Claeys M, Graham B, Vas G, *et al.* 2004. Formation of secondary organic aerosols through photooxidation of isoprene [J]. *Science*, 303(5661):1173—1176
- Claeys, Wang W, Ion A C, *et al.* 2004. Formation of secondary organic aerosol from isoprene and its gas-phase oxidation products through reaction with hydrogen peroxide [J]. *Atmos Environ*, 38(25):4093—4098
- Chen F, Dudhia J. 2001. Coupling and advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity [J]. *Mon Wea Rev*, 129:569—585
- Curci G, Beekmann M, Vautard R, *et al.* 2009. Modelling study of the impact of isoprene and terpene biogenic emissions on European ozone levels[J]. *Atmospheric Environment*,43(7):1444—1455
- Donkelaara A, Martina R, Park R, *et al.* 2007. Model evidence for a significant source of secondary organic aerosol from isoprene[J]. 41:1267—1274
- Guenther A, Hewitt C, Erickson D, *et al.* 1995. A global model of natural volatile organic compound emissions [J]. *Journal of Geophysical Research*,100: 8873—8892
- Guenther A, Geron C, Pierce T, *et al.* 2000. Natural emissions of non-methane volatile organic compounds, carbon monoxide, and oxides of nitrogen from North America[J]. *Atmospheric Environment*,34:2205—2230
- Guenther A, Karl T, Harley P, *et al.* 2006. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (model of emissions of gases and aerosols from nature) [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 6:107—173
- Hoffman T, Odum J, Bowman F, *et al.* 1996. Aerosol formation potential of biogenic hydrocarbons[J]. *J Aerosol Sci*,27(1):S233—S234
- 胡勇涛,张远航,谢绍东,等. 2001. 区域高时空分辨率 VOC 天然源排放清单的建立[J]. *环境科学*, 22(6): 1—6
- Hu Y T, Zhang Y H, Xie S D, *et al.* 2001. Development of biogenic VOC emissions inventory with high temporal and spatial resolution [J]. *Environmental Science*, 22(6): 1—6 (in Chinese)
- Klinger L F, Li Q J, Guenther A B, *et al.* 2002. Assessment of volatile organic compound emissions from ecosystems of China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 107(D21): 4603—4624
- Lamb B D, Gay D, Westberg H, *et al.* 1993. A biogenic hydrocarbon emission inventory for U. S. A using a simple forest canopy model [J]. *Atmos Environ*, 27(11):1673—1690
- 牟玉静,宋文质,张晓山,等. 1999. 落叶阔叶树异戊二烯排放的研究[J]. *环境化学*,18(1): 21—27
- Mu Y J, Song W Z, Zhang X S, *et al.* 1999. Study on emissions of isoprene from deciduous and broadleaf trees [J]. *Environmental Chemistry*, 18(1): 21—27 (in Chinese)
- 屈玉,安俊岭. 2009. 人为源和生物源排放对臭氧的总贡献与协同贡献——以春夏季东亚地区为例[J]. *中国环境科学*, 29(4): 337—344
- Qu Y, An J L. 2009. Synergistic impacts of anthropogenic and biogenic emissions on spring surface ozone in East Asia [J]. *Chinese Environmental Sciences*, 29(4):337—344 (in Chinese)
- Ruppert L, Becker K H. 2000. A product study of the OH radical-initiated oxidation of isoprene: Formation of C5-unsaturated diols [J]. *Atmos Environ*, 34(10):1529—1542
- 司徒淑婷,王雪梅, Alex Guenther, 等. 2009. 典型夏季珠江三角洲地区植被的异戊二烯排放[J]. *环境科学学报*, 29(4):822—828
- Situ S P, Wang X M, Alex G, *et al.* 2009. Typical summertime isoprene emission from vegetation in the Pear River Delta region, China [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 29(4):822—828 (in Chinese)
- Tanarit S, Tiffany D, Christine W, *et al.* 2008. Monoterpene and Sesquiterpene emission estimates for the United States [J]. *Environ Sci Technol*, 42:1623—1629
- Tanarit S, Alex G, Detlev H, *et al.* 2008. Secondary organic aerosol from sesquiterpene and monoterpene emissions in the United States [J]. *Environ Sci Technol*, 42:8784—8790
- Tsui J, Guenther A, Yin W K, *et al.* 2009. A biogenic volatile organic compound emission inventory for Hong Kong [J]. *Atmospheric Environment*, 43:6442—6448
- Tie X X, Li G H, Ying Z M, *et al.* 2006. Biogenic emissions of isoprenoids and NO in China and comparison to anthropogenic emissions[J]. *Science of Total Environment*, 371: 238—251
- 王振亚,郝立庆,张为俊. 2005. 二次有机气溶胶形成的化学过程[J]. *化学进展*, 17(4):732—739
- Wang Z Y, Hao L Q, Zhang W J. 2005. Chemical processes on the formation of secondary organic aerosols [J]. *Progress in Chemistry*, 17(4):732—739 (in Chinese)
- 汪午,王省良,李黎,等. 2008. 天然源二次有机气溶胶的研究进展[J]. *地球化学*, 37(1):77—86
- Wang W, Wang S L, Li L, *et al.* 2008. Advances in biogenic secondary organic aerosols [J]. *Geochimica*, 37(1):77—86 (in Chinese)
- 王永峰,李庆军. 2005. 陆地生态系统植物挥发性有机化合物的排放及其生态学功能研究进展[J]. *植物生态学报*,29(3):487—496
- Wang Y F, Li Q J. 2005. Bvocs emitted from plants of terrestrial ecosystem and their logical functions [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 29(3):487—496 (in Chinese)
- 王效科,牟玉静,欧阳志云,等. 2002. 太湖流域主要植物异戊二烯排放研究[J]. *植物学通报*, 19(2): 224—230
- Wang X K, Mu Y J, Ouyang Z Y, *et al.* 2002. Study on emissions of isoprene from major plants living in Taihu basin [J], *Environmental Bulletin of Botany*, 19(2): 224—230 (in Chinese)
- 王志辉,张树宇,陆思华,等. 2003. 北京地区植物 VOCs 排放速率的测定[J]. *环境科学*, 24(2):7—12
- Wang Z H, Zhang S Y, Lu S H, *et al.* 2003. Screenings of 23 plants species in Beijing for volatile organic compound emissions [J]. *Environmental Science*, 24(2):7—12 (in Chinese)
- Wei X L, Li Y S, Lam K S, *et al.* 2007. Impact of biogenic VOC

- emissions on a tropical cyclone-related ozone episode in the Pearl River Delta region, China [J]. *Atmospheric Environment*, 41: 7851—7864
- Wiedinmyer C, Strange I W, Estes M, *et al.* 2000. Biogenic hydrocarbon emission estimates for North Central Texas [J]. *Atmospheric Environment*, 34: 3419—3435
- Wang Z H, Bai Y H, Zhang S Y. 2003. A biogenic volatile organic compounds emission inventory for Beijing [J]. *Atmosphere Environment*, 37(27): 3771—3782
- 杨小琴. 2006. 植物挥发性有机物(VOCs)释放及其环境净化效应概述[J]. *湖南城市学院学报(自然科学版)*, 15(4): 57—59
- Yang X Q. 2006. An review on volatile organic compounds emitted from vegetation and their contribution to the environment [J]. *Journal of Hunan City University (Natural Science)*, 15(4): 57—59 (in Chinese)
- 闫雁,王志辉,白郁华,等. 2005. 中国植被 VOC 排放清单的建立[J]. *中国环境科学*, 25(1): 110—114
- Yan Y, Wang Z H, Bai Y H, *et al.* 2005. Establishment of vegetation VOC emission inventory in China [J]. *China Environmental Science*, 25(1): 110—114(in Chinese)
- 杨丹菁,白郁华,李金龙,等. 2001. 珠三角地区天然源碳氢化合物的研究[J]. *中国环境科学*, 21(5): 422—426
- Yang D J, Bai Y H, Li J L, *et al.* 2001. Study on hydrocarbon compounds from natural source in the Pear River Delta area [J]. *China Environmental Science*, 21(5): 422—426(in Chinese)
- 张福珠,苗鸿,鲁纯. 1994. 落叶阔叶林释放异戊二烯的研究[J]. *环境科学*, 15(1): 1—5
- Zhang F Z, Miao H, Lu C. 1994. Emission of isoprene from deciduous forest [J]. *Environmental Science*, 15(1): 1—5 (in Chinese)
- 赵美萍,邵敏,白郁华,等. 1996. 我国几种典型树种非甲烷烃类的排放特征[J]. *环境化学*, 15(1): 69—75
- Zhao M P, Shao M, Bai Y H, *et al.* 1996. Study on NMHC emission characteristics of several typical trees in China [J]. *Environmental Chemistry*, 15(1): 69—75 (in Chinese)
- 赵静,白郁华,王志辉,等. 2004. 我国植物 VOCs 排放速率的研究[J]. *中国环境科学*, 24(6): 654—657
- Zhao J, Bai Y H, Wang Z H, *et al.* 2004. Studies on the emission rates of plants VOCs in China [J]. *China Environmental Science*, 24(6): 654—657(in Chinese)
- Zheng J Y, Zheng Z Y, Yu Y F, *et al.* 2010. Temporal, spatial characteristics and uncertainty of biogenic VOC emissions in the Pearl River Delta area [J]. *Atmospheric Environment*, 44: 1960—1969