

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): 822-829

Situ S P, Wang X M, Alex Guenther, et al. 2009. Typical summertime isoprene emission from vegetation in the Pearl River Delta region, China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 29(4): 822-829

典型夏季珠江三角洲地区植被的异戊二烯排放

司徒淑婷¹, 王雪梅^{1*}, Alex Guenther², 柴子为³, 邓儒儒⁴

1 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275

2 National Center for Atmospheric Research, Atmospheric Chemistry Division, USA

3 广东省环境监测中心, 广州 510045

4 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275

收稿日期: 2008-05-03 修回日期: 2008-10-08 录用日期: 2009-02-13

摘要: 利用中巴卫星影像采用监督分类的方法对影像进行解译, 并反演珠江三角洲 4 种主要的植被类型 (PFT). 利用自然排放气体和气溶胶模式——MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature), 对典型夏季珠江三角洲地区植被异戊二烯的排放进行了初步研究. 结果显示: 估算珠江三角洲植被异戊二烯总的排放量为 1.73×10^6 kg (以 C 计, 下同). 异戊二烯的排放有明显的日变化特征, 最大排放量出现在 14:00, 为 2.39×10^5 kg. 广州、江门和惠州的异戊二烯平均排放速率最大, 分别为 $4580 \text{ g km}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、 $4250 \text{ g km}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 和 $4130 \text{ g km}^{-2} \text{ h}^{-1}$; 同时江门和惠州也为异戊二烯日排放量的高值区, 其日排放总量分别为 4.60×10^5 kg 和 4.29×10^5 kg, 排放贡献率分别为 26.6% 和 24.8%.

关键词: 异戊二烯; 植被; MEGAN; 珠三角

文章编号: 0253-2468 (2009) 04-822-08 中图分类号: X131 文献标识码: A

Typical summertime isoprene emission from vegetation in the Pearl River Delta region, China

SITU Shuping¹, WANG Xuemei^{1*}, Alex Guenther², CHAI Ziwei³, DENG Ruru⁴

1 School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275

2 National Center for Atmospheric Research, Atmospheric Chemistry Division, USA

3 Guangdong Environmental Monitoring Center, Guangzhou 510045

4 School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275

Received 3 May 2008 received in revised form 8 October 2008 accepted 13 February 2009

Abstract Images from the Chinese Brazil Earth Resources Satellite (CBERS) were interpreted using a supervised classification method to detect the fractions of plant function types (PFTs) in the Pearl River Delta (PRD) region. The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature (MEGAN) was used in conjunction with new PFT maps to estimate isoprene emissions for a typical summer day in the PRD. The preliminary results reveal ① the total isoprene emission is 1.73×10^6 kg ② isoprene emission has a marked diurnal cycle and the highest emission occurred at 14:00 local time with a maximum value of 2.39×10^5 kg ③ isoprene emission displays large differences in its spatial distribution. The average emission rates of Guangzhou, Jiangmen and Huizhou are $4580 \text{ g km}^{-2} \text{ h}^{-1}$, $4250 \text{ g km}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and $4130 \text{ g km}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectively which represent the three highest values in the PRD. Jiangmen and Huizhou are the two cities with the highest emissions in the PRD and have total isoprene emissions of 4.60×10^5 kg and 4.29×10^5 kg respectively, and the contributions of the two cities to the total regional emission are about 26.6% and 24.8%.

Keywords isoprene; vegetation; MEGAN; PRD

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 40875076, U0833001); 美国大气研究中心 (NCAR) 主任基金 (No. S07-62181); 中国科学院知识创新工程领域前沿项目 (IAP 07306); 国家教育部留学回国基金资助项目 (No. 4105310)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40875076, U0833001), the Dean Foundation of NCAR, U. S. A. (S07-62181), the Field Frontiers Project of Knowledge Innovation Program of CAS (No. IAP 07306) and the Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars, State Education Ministry (No. 4105310)

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)

挥发性有机物 (VOCs) 是重要的臭氧形成前体物, 在对流层大气化学中起重要作用, 并对全球环境变化具有重要影响. 在区域和全球尺度上, 植被排放的 VOCs 已远远超过了人为排放量 (Guenther *et al.*, 1995). Guenther 等 (1995) 估算, 全球 BVOCs 排放量达 1.150×10^{12} g 占全球 VOCs 年排放的 90%; 而异戊二烯和单萜烯是全球年排放量最大的 2 类 BVOCs, 异戊二烯在总 BVOCs 排放量中所占的比重更是接近 50% (Guenther *et al.*, 1995). 研究表明, 异戊二烯具有较高的大气活性, 在大气中的寿命仅为 1~2h (王永峰等, 2005), 是非常重要的光化学反应剂. 因此, 对区域植被异戊二烯排放的研究可为进一步探讨植被对大气环境的贡献提供重要依据.

BVOCs 的排放与区域气候以及植被类型、分布状况密切相关, 国内外在 BVOCs 排放影响因素方面都有相应的研究工作. Guenther 等 (1995) 建立了 BVOCs 全球背景站, 对不同类型植被 BVOCs 排放进行了长时间的监测, 给出了不同植被的 BVOCs 排放因子, 并在环境因子对 BVOCs 排放影响研究的基础上开发了 BVOCs 排放模型, 估算了全球 BVOCs 排放总量和异戊二烯排放量 (Guenther *et al.*, 1995; 2006), 这些工作已经被应用于全球气候变化的研究中. 环境因子对 BVOCs 排放的影响主要是太阳辐射和温度的影响 (Klinger *et al.* 2002; 杨小琴, 2006; Owen *et al.*, 2002). 湿度也能够通过影响气孔导度间接影响叶面温度 (Brad *et al.*, 2005). 研究结果表明, 阔叶树主要排放异戊二烯, 针叶树主要排放单萜烯 (王永峰等, 2005). 异戊二烯的合成依赖光合作用 (王永峰等, 2005). 因此, 异戊二烯的排放主要发生在白天, 受太阳辐射影响要大于温度的影响; 单萜烯的排放则主要受温度的影响.

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, 这都有利于 BVOCs 的排放 (Klinger *et al.*, 2002; Wei *et al.*, 2007). 植被排放的 VOCs 对珠江三角洲日趋恶化的空气质量有多大的贡献, 一直是当地政府和科学家关注的问题. 我国科学家对中国及区域 BVOCs 排放也做了不少工作 (谢晏, 2007; 闫雁等, 2005; 张莉等, 2003; Wang *et al.*, 2003), 但对于通过将植被分布类型分布图矢量化得到植被的分布信息并用于排放量的估算显然不够精确, 很难满足研究区域空

气质量问题的需要. 王效科等 (2002) 对太湖流域主要植被异戊二烯排放因子进行了测定, 并讨论了温度、辐射等环境因子对排放速率的影响; 但由于没有进行植被区域的分布统计, 故没有给出区域的源排放清单. 杨丹青等 (2001) 对珠江三角洲主要树种的 BVOCs 排放因子进行了测定, 并给出了总碳氢网格化的排放清单, 为高分辨率生物源清单的估算打下了基础; 但由于很难对区域的树种进行统计, 此方法在实际应用上还存在困难. 胡泳涛等 (2001) 在华南地区建立了高时空分辨率 VOCs 天然源排放清单的估算方法, 根据每个网格中各种植物类型所占比例对排放因子进行加权平均; 但此方法是在模式区域网格内根据树种先给定每个网格的标准排放因子, 一旦网格精度或位置发生了变化, 必须重新对网格的标准排放因子进行重新核定, 工作量非常大. 由于目前中尺度气象模式和大气化学模式对下垫面的处理都是以阔叶林、针叶林、灌木、草地和农田等为基础的植被类型划分 (PFT), 为了未来能将天然源排放模式在线嵌入到区域大气化学模式中, 本研究中利用卫星影像, 在珠江三角洲地区反演最新的与大气化学模式相匹配的植被类型分布, 选取标准排放因子, 对珠江三角洲 BVOCs 中排放量最大、化学活性高的异戊二烯作为研究对象, 应用最新的自然排放气体和气溶胶模式——MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature), 估算珠江三角洲高分辨率天然源异戊二烯排放, 旨在为更有效地研究该地区光化学烟雾污染提供基础数据和方法.

2 研究方法 (Research method)

选取典型夏季日 2003-07-12 为估算日, 估算日当天温度高、太阳辐射强、无云, 为典型的夏季日. 模式计算区域及地形高度分布见图 1, 包括珠江三

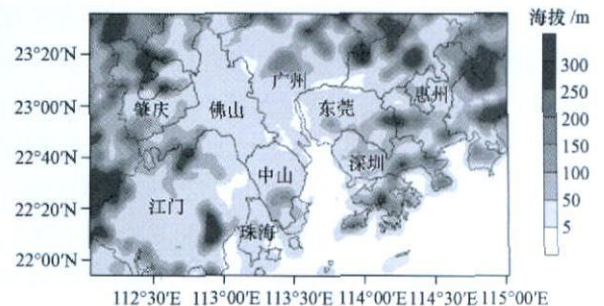


图 1 模拟区与地形高度

Fig. 1 Model Domain and Surface Elevation

角洲 9 个城市. 由图可以看到, 珠江三角洲的中部为平原地区; 东部和西部为丘陵山地, 山高在 200~300m 之间. 模式水平分辨率为 4km × 4km, 模式区有 78 × 47 网格数.

2.1 天然源排放模式

本研究采用最新的 MEGAN 天然源排放模式计算 BVOCs 排放 (Guenther *et al.*, 2006):

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

式中, E 是排放量 ($\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$); ε 是标准状态下的净排放因子 ($\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$); γ 是环境修正因子; ρ 是化学修正因子.

2.1.1 标准排放因子 目前的研究结果显示, 由于植被种类不同, 在标准状态下, 即在太阳高度角为 60° 、叶面指数 (leaf area index, 简称 LAI) 为 5 (相当于 92% 为成熟叶片)、冠层顶光合作用光子通量密度 (PPFD) 传输为 0.6、空气温度为 303K、湿度为 14 g kg^{-1} 、风速为 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Guenther *et al.*, 2006) 条件下得到的阔叶树、针叶树、灌木、庄稼、草等植被类型的标准排放因子 ε 的变化范围很大 (Kesselmeier *et al.*, 1999; Geron *et al.*, 2001; Jeanie *et al.*, 2008). Guenther 等 (2006) 给出了异戊二烯的标准排放因子变化范围为 $0.1 \sim 100 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$, 并指出针叶常绿树比阔叶树异戊二烯的排放低 84%, 针叶落叶林和草地异戊二烯的排放为阔叶树的 1/20. 庄稼地异戊二烯的排放比阔叶树低 2 个量级. 本研究对珠三角地区的植被分布进行了实地调查, 并结合已有的区域和全球的研究结果得到珠江三角洲阔叶树的标准排放因子为 $13.0 \text{ mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ($7.4 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$), 针叶树的标准排放因子为 $2.0 \text{ mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ($0.6 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$), 灌木的标准排放因子为 $11.0 \text{ mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, 草地的标准排放因子为 $0.5 \text{ mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, 庄稼地的标准排放因子为 $0.09 \text{ mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$. 胡泳涛等 (2001) 结合每个网格植被覆盖类型及分布比例对华南地区植被异戊二烯排放因子进行了估算, 给出了阔叶树标准排放因子范围为 $0.1 \sim 60 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$, 针叶林标准排放因子是 $0.1 \sim 1 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$. 通过对国内异戊二烯排放数率相关报道的调研 (张福珠等, 1994; 白郁华等, 1994; 1995; 赵美萍等, 1996; 王效科等, 2002; 牟玉静等, 1999; 王志辉等, 2003; 张莉等, 2003) 发现, 目前国内已有并且可靠的异戊二烯排放速率的树种中基本都不是珠三角地区的优势树种; 仅从外文文献关于珠江三角洲的研究中发现藜蒴、马尾松、荷木和木

麻黄排放速率的报道 (Klinger *et al.*, 2002; Jeanie *et al.*, 2008), 除木麻黄具有 $70 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 的高排放速率外 (Jeanie *et al.*, 2008), 其余 3 种物种均为异戊二烯低排放速率的物种. 因此, 本研究所采用的标准排放因子介于胡泳涛等 (2001) 所给的标准排放因子之间是合理的.

2.1.2 环境修正因子 如上所述, 每个网格点根据不同类型植被覆盖的比例可以计算出标准的排放因子, 但这些标准排放因子是在标准环境因子下测得的, 在实际中需要对环境因子的影响进行修正.

MEGAN 模式中发展了多层冠层模块, 通过冠层内辐射传输以及能量平衡计算向光面叶面温度和背光面叶面温度, 这与其它天然源排放模式中以环境温度代替叶面温度相比, 更反映了植被实际的情况. 对异戊二烯冠层环境修正因子为:

$$\gamma_{\text{CE}} = \gamma_{\text{LAI}} \cdot \gamma_{\text{PPFD}} \cdot \gamma_{\text{T}} \quad (2)$$

式中, γ_{LAI} , γ_{PPFD} , γ_{T} 分别是与 LAI、PPFD、温度有关的影响因子.

$$\gamma_{\text{PPFD}} = \sin(a) [1 + 0.0005 \cdot (\text{PPFD}_m - 400)] [2.46\phi - (0.9\phi^2)] \quad (3)$$

式中, PPFD_m 是月平均 PPFD ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); a 是太阳高度角 (度); ϕ 是无量纲 PPFD 传输因子, 可以由 PPFD、太阳高度角和云覆盖计算.

$$\gamma_{\text{T}} = E_{\text{opt}} \exp(0.08(T_{\text{mon}} - 297)) [C_{T1} \exp(C_{T1} \cdot x) / (C_{T2} - C_{T1}(1 - \exp(C_{T1} \cdot x)))] \quad (4)$$

式中, $x = [(1/T_{\text{opt}}) - (1/T_{\text{hr}})] / 0.00831$, T_{hr} 是小时平均空气温度 (K), T_{mon} 是月平均空气温度 (K), $E_{\text{opt}} = 1.75$, $C_{T1} = 80$, $C_{T2} = 200$ 是经验系数.

$$T_{\text{opt}} = 313 + (0.6(T_{240} - T_0)) \quad (5)$$

式中, T_{240} 是过去 240 小时的温度, T_0 是标准条件下的叶面温度, 为 297K.

$$\gamma_{\text{LAI}} = 0.49 \text{ LAI} / [(1 + 0.2 \text{ LAI}^2)^{0.5}] \quad (6)$$

2.2 资料的获取和处理

2.2.1 PFT 的获取 本次研究借助遥感技术, 通过解译卫星影像获取计算相关的 PFT. 采用 2003 年的中巴资源卫星 (CBERS) 的卫星影像, 其有效分辨率为 20m, 影像覆盖区域为 $111^\circ 57' \text{E} \sim 115^\circ 14' \text{E}$, $21^\circ 58' \text{N} \sim 23^\circ 54' \text{N}$, 覆盖绝大部分的珠江三角洲地区 (见图 1).

利用 PCI Geomatica V9.0 软件, 采取监督分类的方法对卫星影像进行解译, 通过数据融合、网格计算, 最终反演出计算需要的 PFT 资料 (阔叶林、针叶林、灌木以及农田和草地). 同时对卫星影像中不

同植被类型区域进行实际野外调查, 校正解译的误差。

2.2.2 LAI LAI (leaf area index) 在时空上并不是一个定值, 它随着时空的变化而变化。本次研究采用从 MEGAN-L 的数据库中读取的 7 月 1 km × 1 km 的 LAI 数据, 如图 2 所示。

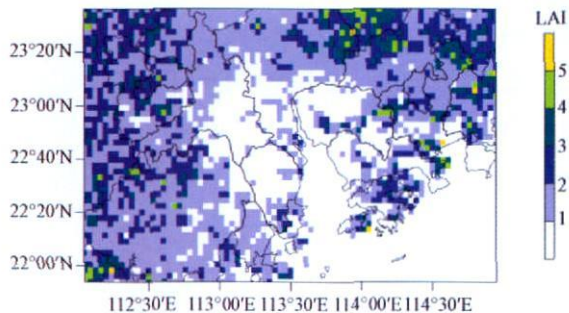


图 2 7 月 LAI 分布
Fig 2 LAI in July

2.2.3 气象资料 MEGAN 需要的气象资料, 包括

风速、水汽混合比、温度、太阳向下的短波辐射 (SWD)、气压、太阳高度角, 由 WRF V2.2 提供。其中, 太阳向下的短波辐射为已经考虑了云量影响后到达植物冠层有效短波辐射。

3 结果 (Results)

3.1 PFT 分布

本次研究利用卫星影像反演出阔叶树 (Broadleaf)、针叶树 (Needleleaf)、灌木 (Shrub and Bush)、农田和草地分布 (Herbs), 其在每个网格点的 PFT 百分比如图 3 所示。在模拟区域内, 阔叶树的覆盖率最高, 为 25.9%, 主要分布在城市化水平较低的地区, 特别是帽峰山和惠东地区; 针叶树覆盖率仅为 8.9%, 主要集中在珠三角周边的山区; 灌木覆盖率为 21.3%, 表现出依山而布的特点; 农田和草地覆盖率为 11.4%, 主要集中在珠三角中部珠江口一带和惠东等地。

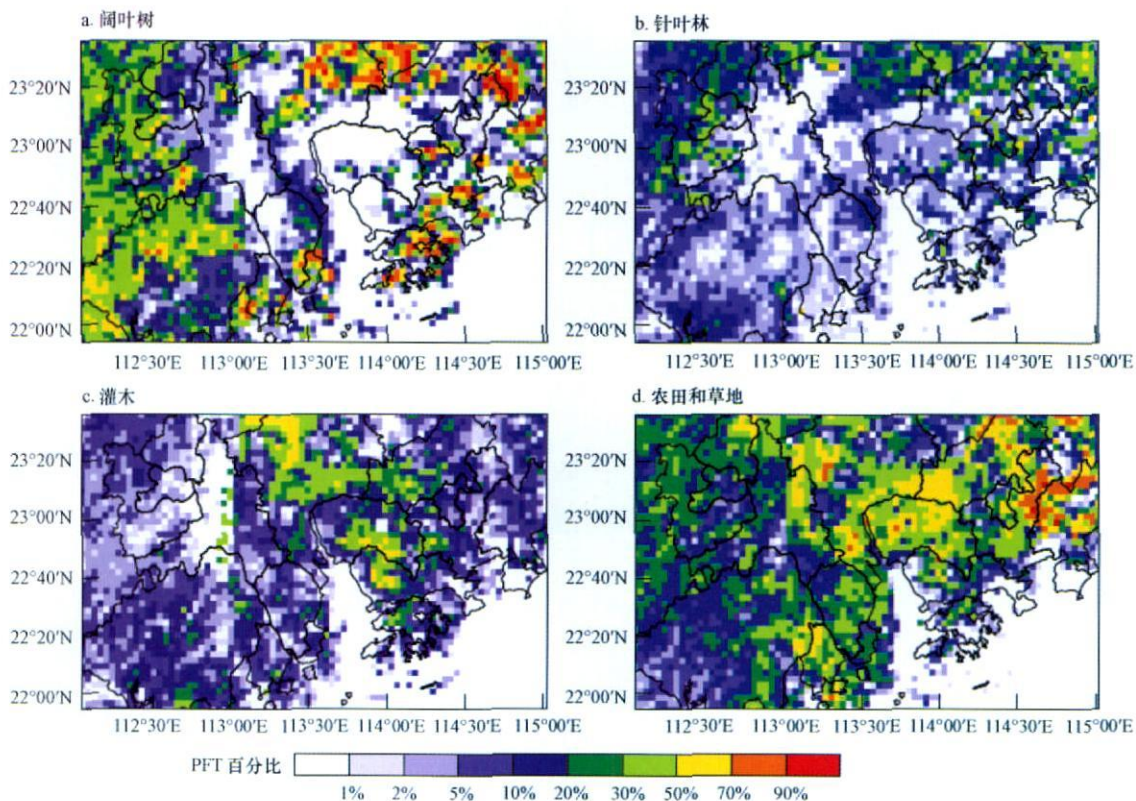


图 3 珠江三角洲地区的四种植被分布

Fig 3 Distributions of ground cover percentage of each of the four PFTs in the PRD

PFT 分布对异戊二烯排放的影响很大, 因此, 选取四会市和博罗县 2 地作测试点评估本次研究反演的植被信息, 采用广东省林业局提供的 2006 年林业

数据对卫星反演 PFT 进行校验。在博罗县, 卫星影像反演的阔叶树、针叶树、灌木的比例分别是 25.0%、15.3%、13.7%, 整个森林的覆盖率为

54.0%; 林业局的数据显示, 该县的森林覆盖率为 48.2%, 相对误差为 7.9%。而四会市, 卫星影像反演的阔叶树、针叶树、灌木的比例分别是 19.9%、16.9%、4.9%, 整个森林的覆盖率为 41.6%; 林业局的数据显示, 该县的森林覆盖率为 52.5%, 相对误差为 20.8%。由此可知, 大的分类方面卫星反演的森林覆盖与实际林业局的数据基本吻合, 故可以作为实际的 PFT 应用于本研究。

3.2 异戊二烯排放

图 4 给出了模拟日 9:00、11:00、14:00、17:00 研究区域异戊二烯排放速率。图中显示, 异戊二烯的排放具有明显的日变化特征和地理分布差异。随

着时间的推移, 异戊二烯排放量呈现出先上升后下降的日变化特征。在早上 9:00 点时, 模拟区域的太阳辐射和 2m 温度都很小, 平均值分别为 $480.45 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 28°C , 珠江三角洲异戊二烯的排放量为 $1.18 \times 10^5 \text{ kg}$ 。随着时间的推移, 太阳辐射和 2m 温度都逐渐上升, 在 14:00 的时候模拟区域的太阳辐射和 2m 温度均值分别为 $812.94 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 30.8°C , 此时珠江三角洲异戊二烯的排放量达到最大为 $2.39 \times 10^5 \text{ kg}$ 为上午 9:00 的 2 倍多。模拟区域太阳辐射最强出现在 13:00 温度最高值出现在 15:00 而异戊二烯最大小时排放量却出现在 14:00, 这说明了异戊二烯的排放受环境因素的综合影响。

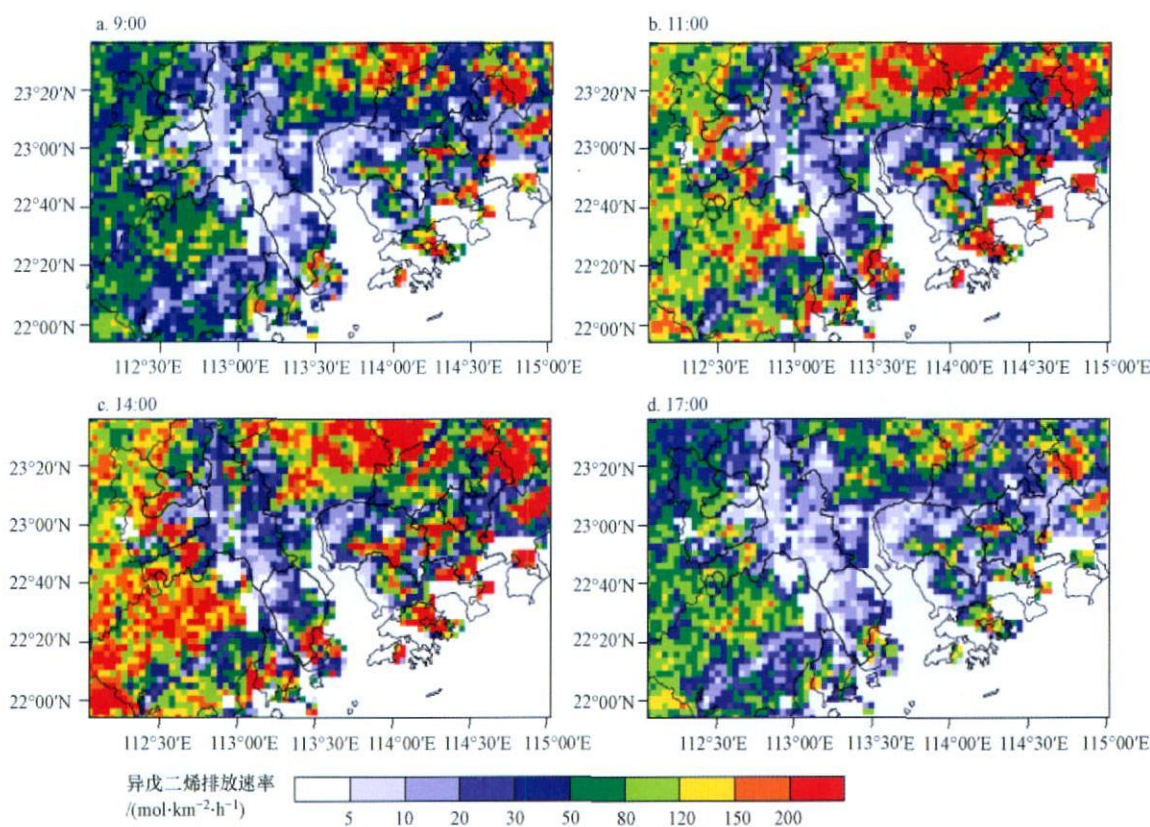


图 4 9:00、11:00、14:00、17:00 研究区域异戊二烯排放速率

Fig 4 Emission rate distributions of isoprene at 9, 11, 14, 17

从空间上看, 异戊二烯的排放具有明显的地理分布差异, 按模拟区域内各市范围统计各市异戊二烯平均排放速率和日排放总量 (见表 1)。从表 1 中可以看出, 广州异戊二烯的平均排放速率最高, 为 $4580.0 \text{ g} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; 江门次之, 为 $4250.0 \text{ g} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。中山、佛山则由于植被分布量低, 特别是高排放能力的阔叶树分布量低, 成为珠三角地区异戊二烯排放速率的低值区; 其估算日的平均排放速率分别为 $1510.0 \text{ g} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $2010.0 \text{ g} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。珠三角地

区在估算当天的异戊二烯排放总量为 $1.73 \times 10^6 \text{ kg}$ 。由于各市的面积不同, 因此造成各市总的排放量和负荷有很大的差异, 从表 1 中可以看出, 江门地区的异戊二烯日排放总量最高, 为 $4.60 \times 10^5 \text{ kg}$ 。对珠江三角洲地区排放总量的贡献率达 26.6%; 惠州地区名列第二, 贡献率为 24.8%; 广州的排放贡献率也较高, 为 19.1%。位于珠江口两岸的东莞、中山、珠海和深圳以及工业发达的佛山为异戊二烯低排放区, 4 个城市估算日当天的异戊二烯排放贡献率之

和仅为 12.7%, 比广州的贡献率还小.

表 1 珠江三角洲各市异戊二烯排放情况

Table 1 Isoprene emissions in the PRD

| 城市 | 平均排放速率 ($g \cdot km^{-2} \cdot h^{-1}$) | 日排放总量 ($10^5 kg$) | 贡献率 |
|----|--|------------------------|-------|
| 江门 | 4250.0 | 4.60 | 26.6% |
| 惠州 | 4130.0 | 4.29 | 24.8% |
| 广州 | 4580.0 | 3.31 | 19.1% |
| 肇庆 | 3630.0 | 1.94 | 11.2% |
| 佛山 | 1920.0 | 0.98 | 5.7% |
| 东莞 | 2280.0 | 0.72 | 4.2% |
| 珠海 | 3550.0 | 0.63 | 3.6% |
| 深圳 | 2010.0 | 0.50 | 2.9% |
| 中山 | 1510.0 | 0.34 | 2.0% |

3.3 异戊二烯排放的影响分析

植被异戊二烯的排放受植被和环境因子的综合影响, 但各个因子所起作用的大小有所不同. 选取 3 个典型格点作为样点, 探讨植被、太阳辐射和 2m 温度 3 个因素对植被异戊二烯排放的影响. 表 2 给出了各样点的网格位置, A、B、C 3 点分别位于江门东部, 中山的中部和广州东北部, 分别代表以针叶树为主、草地和庄稼为主、阔叶树为主的植被覆盖. 计算 3 个样点当天白天各个时刻的太阳辐射和温度条件以及植被异戊二烯的排放情况, 结果如图 5 所示. 从图中 3 个样点的排放量变化可以看出, C 点的排放量最大, 且日变化特征最明显, 排放最大值出现在 14:00 其值约为 $18000 g \cdot km^{-2} \cdot h^{-1}$; A 点的排放量明显低于 C 点, 有较弱的日变化特征, 排放最大值也是出现在 14:00 其值为 $4000 g \cdot km^{-2} \cdot h^{-1}$; 而 B 点的排放量最低, 且基本没有日变化特征. 这也显示阔叶树排放的日变化特征最明显, 针叶树次之, 草地和庄稼排放基本没有日变化特征.

从太阳辐射的日变化特征可以看出, 3 个样点都具有较强的日变化, 10:00 之前和 14:00 之后 3 个样点太阳辐射基本一致; 对比排放量的变化可以看出, 阔叶树 (C 点) 对太阳辐射最敏感, 其排放变化与太阳辐射的变化规律基本一致; 针叶树的排放虽表现出日变化特征, 但其日变化波动小于太阳辐射的波动; 草地和庄稼的排放基本不受太阳辐射的影响. 从温度的日变化特征可以看出, 3 个样点温度相差不大, 都表现出相同的日变化特征, 15:00 温度达到最大值, 约为 $32^{\circ}C$; 对比排放量的变化可以看出, 温度对植被异戊二烯排放的影响没有太阳辐射明显, 在温度基本相同的情况下, 植被排放却有着显

著的不同. 但是, 异戊二烯最大排放量出现在 14:00 既不是太阳辐射最大的时刻, 也不是温度最高的时刻; 这可以说明, 异戊二烯的排放还是受温度和太阳辐射的综合影响.

表 2 各样点的分布及 PFT

Table 2 Location and PFT of sampling sites

| 植被类型 | A (30, 28) | B (30, 41) | C (56, 52) |
|------|------------|------------|------------|
| 阔叶树 | 3.33% | 1.02% | 43.50% |
| 针叶树 | 42.90% | 0.81% | 33.10% |
| 灌木 | 10.90% | 0.51% | 4.94% |
| 草和庄稼 | 31.50% | 82.30% | 17.20% |

注: A (30, 28): 网格点 A 为第 30 行, 第 28 列, 下同.

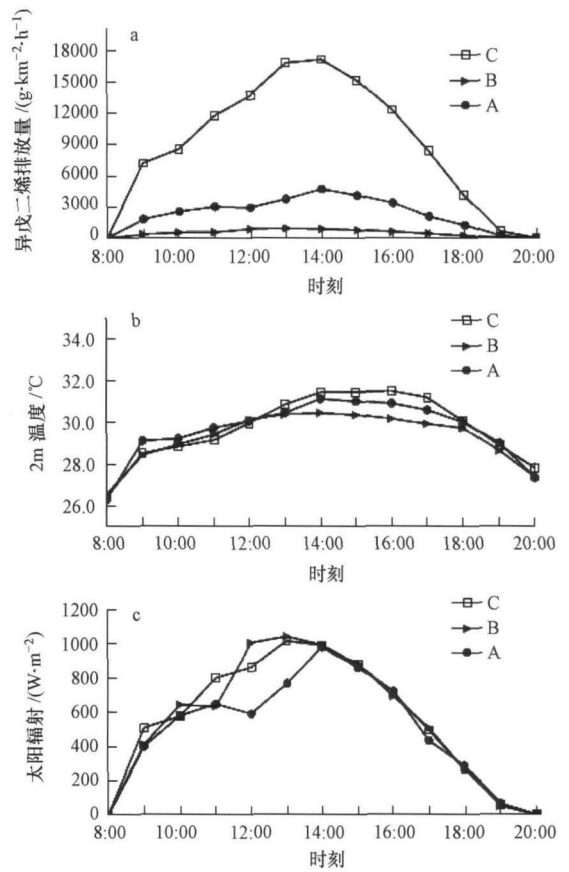


图 5 样区的环境条件和植被异戊二烯排放的日变化情况

Fig. 5 Environmental conditions and diurnal variation of isoprene emission in sampling sites

4 不确定性讨论 (Uncertainties)

在 VOCs 天然源排放的估算过程中, 其估算误差主要来自以下几个方面.

1) 准确解译卫星影像存在难度: 采用卫星影像提取植被分布信息, 比单纯地通过矢量化植被分布图获取植被信息更为准确和有效. 通过一系列的校

正,本次解译结果基本能够反映地区植被分布状况,但是和真实的分布情况间还是存在着一定的差异。

2)气象场的模拟与观测值存在差异:由以上的分析结果可以看出,太阳辐射和温度对植被异戊二烯排放有很大的影响.本研究中由中尺度预报模式 WRF 为 MEGAN 提供动态气象场,选取 4 个点(A(9 55); B(12 55); C(10 50); D(15 50)),对模式模拟结果的误差进行探讨.表 3 给出了 4 个点模拟

结果与实测结果.太阳辐射的误差在 $-69 \sim 178 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间, 2m 温度的误差在 $-1.9 \sim -3.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间;而 WRF 模式开发组对误差的分析也显示,在无云的情况下,太阳辐射的误差一般在 $(100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})$,有部分云覆盖时,其误差值将会增大;而温度的误差一般在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/>).和 WRF 模式开发组给出的系统误差相比,本研究所用的气象场基本可以反映估算日的气象情况。

表 3 模拟均值与监测均值的对比

Table 3 Comparison of average modeled and observed results

| 样点 | 太阳辐射 | | | 2m 温度 | | |
|----|--|--|---|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 模拟值 / ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) | 监测值 / ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) | 误差 / ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) | 模拟值 / $^{\circ}\text{C}$ | 监测值 / $^{\circ}\text{C}$ | 误差 / $^{\circ}\text{C}$ |
| A | 519 | 341 | 178 | 29.2 | 31.5 | -2.3 |
| B | 498 | 381 | 117 | 28.8 | 31.9 | -3.1 |
| C | 487 | 556 | -69 | 28.9 | 32.2 | -3.3 |
| D | 498 | 424 | 74 | 30.3 | 32.2 | -1.9 |

注:监测数据来自香港科技大学

3) MEGAN 模式参数选取:已有的研究表明,天然源排放的估算具有很大的不确定性. Guenther 等对北美地区 BVOCs 的估算的不确定性达到 300% (Guenther *et al.*, 2000);王志辉等对北京 BVOCs 估算的不确定性也超过了 100% (Wang *et al.*, 2003).当本地植被构成、排放因子缺失的时候,这种不确定性还将大大地提高 (Jeanie *et al.*, 2008).另外,目前 MEGAN 模式中忽略了土壤湿度和化学对植被排放量的影响,未考虑除了植物叶排放以外的其他天然源,尤其是当估算区域内有大面积海域而未考虑海洋排放时,也会造成估算误差。

5 结论 (Conclusions)

1)利用中巴卫星影像反演珠江三角洲地区植被分布,并结合实地植被调查,得到珠江三角洲地区 4 种植物在每个模拟网格中的分布比例.总体来看,具有高排放能力的阔叶树在珠三角地区的覆盖率为 25.9%,主要分布在珠江三角周边城市化水平较低的地区,特别是广州东北部和惠东.灌木在珠三角地区的覆盖率为 21.3%.针叶树的分布量不多,其覆盖率仅 8.5%.草和农田则集中分布在珠江三角洲的中部。

2)选择典型夏日 2003-07-12 利用 WRF 中尺度气象模式为自然排放气体和气溶胶模式——MEGAN 提供气象驱动场,得到了珠江三角洲典型日植被异戊二烯总的排放量为 $1.73 \times 10^6 \text{ kg}$ 异戊二

烯排放具有明显的日变化特征和地理分布差异:排放最高值出现在 14:00 为 $2.39 \times 10^5 \text{ kg}$ 广州、江门、惠州为异戊二烯平均排放速率的高值区,其平均排放速率分别为 $4580 \text{ g} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $4250 \text{ g} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $4130 \text{ g} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$;江门市和惠州市的异戊二烯日排放总量最大,分别为 $4.60 \times 10^5 \text{ kg}$ 和 $4.29 \times 10^5 \text{ kg}$ 对当日珠三角地区异戊二烯排放的贡献为 26.6% 和 24.8%;中山、深圳、珠海、东莞和佛山为珠三角地区异戊二烯排放的低值区,对该区异戊二烯排放的贡献分别为 2.0%、2.9%、3.6%、4.2% 和 5.7%。

3)植被异戊二烯排放的这种明显的日变化特征和地理分布差异是受植被分布和环境条件综合影响的结果:太阳短波辐射和 2m 温度是影响植被异戊二烯排放日变化的重要环境因子;植被的地理分布差异决定了植被异戊二烯排放的地理分布差异。

责任作者简介:王雪梅(1969—),女,博士,副教授,主要从事大气环境与大气物理的研究。

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, Zhao 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)
- Brad B, Bai J H, Curtis J *et al*. 2005. Wet and dry season ecosystem level fluxes of isoprene and monoterpenes from a southeast Asian secondary forest and rubber tree plantation [J]. Atmospheric Environment 39: 381—390
- Geron C, Harley P, Guenther A. 2001. Isoprene emission capacity for US tree species [J]. Atmospheric Environment 35: 3341—3352
- 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 Discussion 6: 107—173
- 胡泳涛, 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]. China Environmental Science 22(6): 1—6 (in Chinese)
- Jeanjean K Y T, Alex Guenther Wing-K in Y, *et al*. 2008. A biogenic volatile organic compound emission inventory for Hong Kong [J]. Atmospheric Environment doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.01.027
- 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(21): ACH 16—1; 16—19
- Kesselmeier J, Staudt M. 1999. Biogenic volatile organic compounds (VOC): An overview on emission, physiology and ecology [J]. Atmospheric Chemistry, 33: 23—88
- 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)
- Owen S M, Harley P, Guenther A B, *et al*. 2002. Light dependency of VOC emissions from selected Mediterranean plant species [J]. Atmospheric Environment 36: 3147—3159
- 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, Mou Y J, Ouyang Z Y, *et al*. 2002. Study on emission of isoprene from major plants living in Taihu basin [J]. Chinese Bulletin of Botany, 19(2): 224—230 (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 ecosystems and their ecological functions [J]. Acta Phytocologica Sinica 29(3): 487—496 (in Chinese)
- Wang Z H, Bai Y H, Zhang S Y. 2003. A biogenic volatile organic compounds emission inventory for Beijing [J]. Atmospheric Environment 37: 3771—3782
- 王志辉, 白郁华, 王雪松, 等. 2003 西双版纳地区三叶橡胶树异戊二烯和单萜烯排放机理初步研究 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 39(4): 512—515
- Wang Z H, Bai Y H, Wang X S, *et al*. 2003. Investigation of the Mechanisms of Isoprene and Monoterpene Emissions from Hevea brasiliensis in Xishuangbanna [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis 39(4): 512—515 (in Chinese)
- Wei X L, Li Y S, Lan 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
- 谢晏. 2007. 中国自然源排放及对对流层光化学特性和臭氧污染控制的影响研究 [D]. 南京: 南京大学, 1—187
- Xie Y. 2007. A study on the natural emissions of ozone precursors over China and their effects on tropospheric photochemistry and countermeasure for regional ozone control [D]. Nanjing: Nanjing University, 1—187 (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)
- 杨丹青, 白郁华, 李金龙, 等. 2001 珠江三角洲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 Pearl River Delta area [J]. China Environmental Science 21(5): 422—426 (in Chinese)
- 杨小琴. 2006 植物挥发性有机物 (VOC) 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. A 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)
- 张莉, 王效科, 欧阳志云, 等. 2003 中国森林生态系统的异戊二烯排放的研究 [J]. 环境科学, 24(1): 8—14
- Zhang L, Wang X K, Ouyang Z Y, *et al*. 2003. Estimation of isoprene emission from forest ecosystems in China [J]. Environmental Science 24(1): 8—14 (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 NHMC emission characteristics of several typical trees in China [J]. Environmental Chemistry 15(1): 69—75 (in Chinese)