

常州地区植被排放 VOC 的估算研究

周崴

(常州市环境监测中心,江苏 常州 213001)

摘要:通过对2011年常州地区各类植物 VOC 排放因子,以及各类植被分布面积等数据统计分析,采用 BEIS 模型为参考的估算方法,建立起常州地区植被 VOC 的排放清单。结果表明,植被所排放 VOC 的变化规律既与植物本身有关又与气温和太阳辐射有关,区域内年植被 VOC 的总排放量为 1.13×10^4 t。

关键词: 植被挥发性有机化合物; 排放清单; 常州地区

中图分类号: X502; X503.23

文献标识码: B

文章编号: 1006-2009(2013)04-0013-05

Studies on Estimate of Vegetation VOC Emission in Changzhou Area

ZHOU Wei

(Changzhou Environment Monitoring Center, Changzhou, Jiangsu 213001, China)

Abstract: An vegetation VOC emission inventory in Changzhou area was established using an estimating method based on BEIS model by statistical analyzing the vegetation VOC emission factors and vegetation distribution area data in 2011. The results showed that the vegetation VOC emission is related with temperature, radiation and vegetation species. The annual emission of vegetation VOC in Changzhou area was more than 1.13×10^4 t.

Key words: Vegetation VOC; Emission inventory; Changzhou area

0 引言

近年来,空气中挥发性有机物 VOC (Volatile Organic Compounds) 的来源、特征,以及估算自然源 VOC 排放研究备受关注,一方面研究挥发性有机物的来源有助于全球碳平衡和全球气候变化的研究,另一方面挥发性有机物是环境空气中的重要化学物质,在大气光化学反应中扮演重要的角色。异戊二烯 (ISOP) 和单萜化合物 (TERP) 是植物排放量最大的两种挥发性有机物,并且具有高反应活性,因此将异戊二烯和单萜两种 VOC 作为主要研究对象。

美国是开展植物源排放清单研究较早的国家之一。多年来,以大量植物释放挥发性有机物的研究为基础,建立了植物源排放基础数据库,并开发了估算植物源排放 BEIS 系列模型作为估算植物排放的推荐模型。目前很多国家和地区植物源排放清单研究采用的都是与 BEIS 模型类似的排放估算方法。例如 Allison 等^[1]对东亚地区、阎雁等^[2]对中国的植物源排放清单研究。胡泳涛等^[3]

对华南地区植物源挥发性有机物的排放研究也采用了类似的方法。

1 估算方法

该研究采用的估算方法主要以 BEIS 模型为参考,由于该模型未考虑季节变化的影响,因而在研究植物排放季节变化特征时,同时参考了 Kellomäki 等^[4]提出的估算方法。

植物排放 VOC 受到很多环境因素的影响,其排放的强度有很大差别。研究表明,对于短期变化规律而言,主要受叶面温度和光合有效辐射 PAR (Photomorphogenetically Active Radiation) 的影响,通常的算法如下:

$$E = \sum_i EF_i \cdot D_i \cdot A_i \quad (1)$$

收稿日期: 2013-01-23; 修订日期: 2013-07-08

基金项目: 常州市大气污染物排放清单建立研究基金资助项目。

作者简介: 周崴(1980—)男,江苏常州人,工程师,硕士,从事生态环境监测工作。

其中 E 为研究区域内所有植被的排放总量, EF_i 为第 i 种植物的排放因子, D_i 为第 i 种植物的叶生物量密度 (gdw/m^2), A_i 为研究区域内第 i 种植物的面积。

植物的排放是随外界环境因素变化而变化的, 因此, 建立植物源挥发性有机物排放清单需要考虑环境因素的变化。在影响植物排放的各项因素中, 叶生物量是影响排放的最重要的生物因素之一, 而在非生物因素中, 主要的影响因素为光照和叶温。

1.1 基础数据来源

(1) 气象数据: 2011 年气温和太阳辐射总量数据来源于常州市环境监测中心。

(2) 土地利用数据: 自然植被数据(包括草地、针叶林、阔叶林、针阔混交林和灌木林等)来源于全国生态环境十年变化(2000—2010)遥感调查与评估项目, 由 2010 年 HJ-1A/1B 环境一号卫星影像解译获得; 水稻和小麦播种面积为人工植被数据, 来源于《常州统计年鉴 2011》。

1.2 排放因子的修正

为了便于比较和应用, 通常文献报导的排放因子都已转换成标准条件下的排放值, 即对应的叶温为 30°C 、光合有效辐射为 $1\,000\ \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。由于实际环境条件常偏离标准条件, 因此公式(1)中排放因子通常需要根据环境条件(光照和叶温)进行修正。其修正方法如下:

$$EF_i = EF_s \cdot C_T \cdot C_L \quad (2)$$

式中: EF_s 是在叶温为 $303\ \text{K}$, 光合有效通量 PAR 为 $1\,000\ \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 的标准条件下的 VOC 排放因子 ($\mu\text{gC}/\text{gdw} \cdot \text{h}$); C_T 、 C_L 分别是温度和光照的修正系数。

如前所述, 忽略不同植被受环境影响的差异, 异戊二烯的排放主要受光照和温度变化影响, 因此实际计算中需要对温度和光照的变化进行修正。该研究利用美国的 BEIS (Biogenic Emissions Inventory System) 2.0 模型^[6]中的修正系数公式进行计算:

叶温的修正:

$$C_T = \frac{\exp\left(\frac{C_{T1}(T - T_s)}{RT_s T}\right)}{1 + \exp\left(\frac{C_{T2}(T - T_m)}{RT_s T}\right)} \quad (3)$$

式中: R 是理想气体常数 ($8.314\ \text{J}/\text{K} \cdot \text{mol}$); T (K) 是叶温; T_s ($303\ \text{K}$) 是标准叶温; T_m ($314\ \text{K}$)、

C_{T1} ($95\,000\ \text{J}/\text{mol}$) 和 C_{T2} ($230\,000\ \text{J}/\text{mol}$) 为经验系数。

光合有效辐射 (PAR) 是评估光照对植物光合作用影响的重要参数, 因此也被用来间接表示异戊二烯排放速率受光照的影响, 其修正方法^[5]如下:

$$C_L = \frac{\alpha C_{L1} L}{(1 + \alpha^2 L^2)^{1/2}} \quad (4)$$

式中: L 是光合有效辐射通量, α (0.0027) 和 C_{L1} ($=1.066$) 是经验参数。

温度是控制单萜排放速率的主要因素, 通常采用如公式(5)^[5]所示的指数形式的经验公式进行修正。

$$C_T = \exp[\beta(T - T_s)] \quad (5)$$

式中: β ($0.09\ \text{K}^{-1}$) 是经验系数。因为单萜的排放速率受光照的影响不明显, 因此 C_L 近似取 1, 对光照不进行修正。

1.3 本地参数的确定

植物源 VOC 年排放的估算, 还需要以下本地参数: 叶生物量密度、各种植被的标准排放因子和环境校正因子。

1.3.1 叶生物量密度

由于植物叶生物量存在地区差异和个体差异, 文献中提供的叶生物量通常具有区域代表性。鉴于常州地区植物种类繁多, 获取每个物种的叶生物量有一定难度。采用美国的 BEIS2.0 和文献[2]中提供的叶生物量密度作为参考值, 即 $1\,000\ \text{gdw}/\text{m}^2$ (针叶林) $849\ \text{gdw}/\text{m}^2$ (针阔混交林) $798\ \text{gdw}/\text{m}^2$ (其他针叶树) $105\ \text{gdw}/\text{m}^2$ (草本植物) $368\ \text{gdw}/\text{m}^2$ (灌丛) $400\ \text{gdw}/\text{m}^2$ (水稻、小麦)。

1.3.2 标准排放因子

由于植物的地区差异影响较大, 不同文献[2-3, 6-7]所给出的标准排放因子也存在明显的差异, 该研究在进行排放因子取值时尽可能采用国内实测值。针对常州地区的植被类型, 确定了排放因子标准值(表 1)。

1.3.3 环境校正因子

参照 BEIS 模型的估算方法, 叶温近似取环境温度值, 以气温代替。光合有效辐射 PAR 由太阳辐射总量 Q 和光合有效系数 η_Q 计算得到。

$$\text{PAR} = \eta_Q \times Q \quad (6)$$

采用 2011 年的气象数据计算温度和光照修正因子, 每月的光合有效系数 η_Q 来自于文献[8], 从而得到常州市植物排放异戊二烯和单萜的环境修

正因子的年变化。

表 1 各植被类型的排放因子 $\mu\text{gC/gdw} \cdot \text{h}$
Table 1 Emission factors of different vegetation types $\mu\text{gC/gdw} \cdot \text{h}$

植被类型	异戊二烯	单萜
针叶林	4.1	1.83
针阔混交林	34	0.8
阔叶林	30	0.38
草本植物	0.5	0.2
灌丛	4.1	0.38
水稻	2.49	15.8
小麦	0.03	2

1.3.4 叶生物量密度校正系数 SH

现忽略常绿植物的叶生物量季节变化, 仅对落叶植物进行叶生物量季节修正。

在计算有效积温时, 根据常州市所处纬度, 取生物学零度为 $10\text{ }^\circ\text{C}$ [9]。利用常州市 2011 年的日平均气温数据, 采用 5 日滑动平均法 [10] 计算有效积温。叶生物量的变化分为 3 段: 生长段、稳定段和衰减段。生长段的叶生物量随着温度的升高而增加, 生长段第 i 天的叶生物量修正系数 $\text{SH}_{\text{up } i}$ 如公式所示:

$$\text{SH}_{\text{up } i} = \frac{1}{2} \log \left(100 \frac{\text{ETS} - a}{b - a} \right) \quad (7)$$

$$\text{ETS} = \sum_{d=1}^i (T_d - T_1) \quad \text{当 } T_d \geq T_1 \text{ 时} \quad (8)$$

式中: ETS 为有效积温; T_d 为气温; T_1 为生物学零度; i 为生长期天数; a 和 b 分别为生长期起始日和结束日的有效积温。

衰减段的叶生物量则随着温度的降低而减小, 衰减段第 i 天的叶生物量修正系数 $\text{SH}_{\text{down } i}$ 如公式所示:

$$\text{SH}_{\text{down } i} = 1 - \sum_{d=1}^i \frac{1}{C} (T_h - T_d) \quad (9)$$

$$C = \sum_{d=1}^n (T_h - T_d) \quad (10)$$

式中: C 为温度修正因子, 表示整个衰减段的有效积温; T_h 为植物开始落叶的平均温度; T_d 为气温; n 表示衰减段持续天数。

公式(7)中, $a = 36 \text{ d. d.}$, $b = 600 \text{ d. d.}$ [5]。由有效积温估算的 2011 年植物生长期起始于 4 月 6 日, 结束于 5 月 26 日, 之后植物生长进入稳定期。衰减期叶生物量的估算, 需要确定衰减期的时间跨度和开始落叶的平均温度。由于不同地区、不同植物的该参数相差很大, 而且也存在年际差异, 因此难以精确确定每种植物的开始落叶温度。今根据

1983 年—1988 年《中国动植物物候观测年报》主要物种的物候观测资料, 划定平均的衰减期, 进而推算开始落叶的平均温度为 $15\text{ }^\circ\text{C}$, 并确定公式(10)中的 C 值。

将常州市 2011 年日平均气温代入 $\text{SH}_{\text{down } i}$ 公式, 得到 $\text{SH}_{\text{down } i}$ 的时间变化曲线。生长段末到衰减期初, 即 2011 年 5 月 26 日到 11 月 17 日, 由于叶生物量比较稳定, SH 值近似取 1。叶生物量季节变化曲线如图 1 所示。

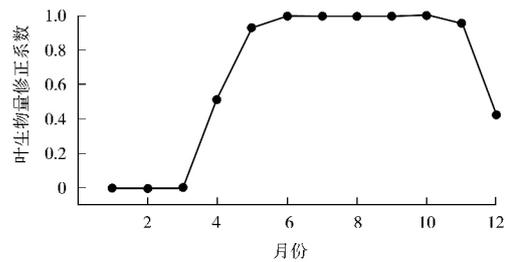


图 1 叶生物量季节变化曲线(2011)

Fig. 1 Seasonal change curve of leaf biomass(2011)

2 结果与讨论

2.1 排放量与速率的地域差异

常州市 2011 年全年的植物源异戊二烯排放总量为 $9.53 \times 10^3 \text{ t}$ (其中自然植被约占 87%, 人工植被约占 13%), 单萜排放总量为 $1.73 \times 10^3 \text{ t}$ (其中自然植被约占 38%, 人工植被约占 62%)。

常州市主要植被类型面积数据见表 2。

表 2 常州市主要植被类型分布(播种)面积 km^2
Table 2 Distribution (sown) area of main vegetation

types in Changzhou area		km^2
植被类型	分布(播种)面积	
自然植被	草本植物	1.9
	常绿阔叶林	83.6
	常绿针叶林	58.6
	灌木林	52.3
	落叶阔叶林	31.5
人工植被	针阔混交林	33.6
	水稻	842.3
	小麦	639.8

常州市大部分的森林植被主要分布在溧阳市南部天目湖地区和金坛市西部的茅山地区, 地貌类型为丘陵山区。溧阳市和金坛市的森林植被面积分别占常州市森林植被总面积的 65.86% 和

22.02% ,人工植被种植面积分别占常州市人工植被总面积的 45.06% 和 24.71% ,多分布在河湖平原地区。因此 ,溧阳市和金坛市的年排放量及单位面积排放速率都比较高(图 2、图 3)。按年排放大小顺序依次为溧阳市、金坛市、武进区和新北区 ,天宁区、钟楼区和戚墅堰区的排放量相对于总量基本可以忽略。单位面积排放速率 ,溧阳市和金坛市的异戊二烯排放速率($>3\ 000\ \text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$) 远高于其他区域($500\ \text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{a} \sim 700\ \text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$) ,而单萜的排放速率各区域相差不大 ,按排放速率大小顺序依次为溧阳市、金坛市、新北区、武进区和戚墅堰区 ,天宁区和钟楼区没有单萜排放。

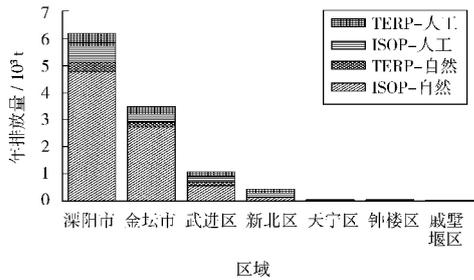


图 2 分区县植物源挥发性有机物的年排放量
Fig. 2 Annual emissions of vegetation VOC by region

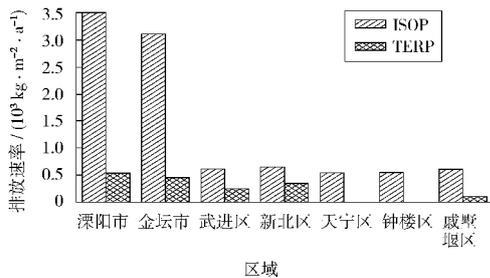


图 3 分区县植物源挥发性有机物的年排放速率
Fig. 3 Annual emission rates of vegetation VOC by region

2.2 排放量的年内变化

植物源挥发性有机物的排放随着植物生长季节变化而变化。显著的排放始于 3、4 月份 ,夏季排放水平明显高于其他季节 ,7、8 月份植物排放达到顶峰 ,此后开始下降 ,进入冬季排放几乎降至零。在全年的排放中 4—11 月的排放量分别占全年排放量的 98.0% (异戊二烯) 和 92.9% (单萜)。如图 4(a) (b) 所示。

研究中最主要的不确定性主要来自以下几个

方面:各种植被的排放因子并非本地化参数 ,而是国内外其他地区测定结果的统计值 ,植物生长特性的地区差异和个体差异是最主要的不确定性;不同

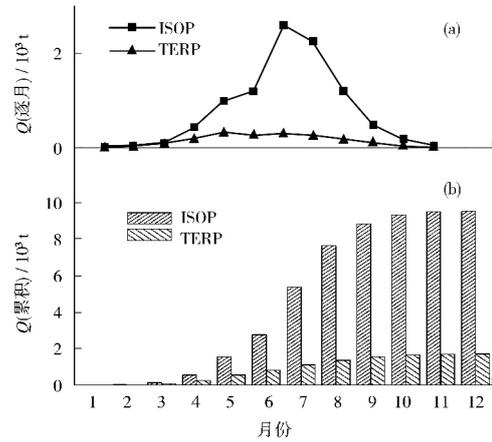


图 4 常州市 2011 年植物源挥发性有机物排放量的年内变化

Fig. 4 Month emission of vegetation VOC of 2011 in Changzhou area

地区的同种植物叶生物量密度可能存在很大差异 ,在缺乏足够数量样地的叶生物量密度实测数据时 ,选取一个文献值作为同种植物的叶生物量密度 ,可能造成取值与实际情况的差异 ,从而导致估算结果的不确定性;土地利用空间分布数据与实际估算时段植被地理分布的差异也是不确定性的主要原因。

3 结论

常州市植物源挥发性有机物排放量的估算以环境卫星数据解译获得的常州市土地利用分布数据和农业生产统计数据为依据 ,通过调研常州地区优势植物的栽种特点和物候特征 ,总结归纳了常州地区自然植被和人工植被的季节变化情况 ,并通过调研相关植被类型的排放观测数据 ,估算得到常州地区植物源挥发性有机物的年排放量。研究的主要结论如下:

(1) 常州市 2011 年全年的植物源异戊二烯排放总量约为 $9.53 \times 10^3\ \text{t}$,其排放主要集中在溧阳市和金坛市;单萜排放约为 $1.73 \times 10^3\ \text{t}$,其排放主要集中在人工植被上。植被 VOC 年总排放量为 $1.13 \times 10^4\ \text{t}$ 。异戊二烯的主要排放者是一部分木本植物 ,如阔叶林和针阔混交林;单萜的主要排放者为农林作物 ,包括小麦、水稻、果树等。

(2) 常州地区植物源挥发性有机物的排放呈

现明显季节变化,其影响因素主要包括物候变化、温度变化和日照变化等。受这些因素的影响,常州地区的植物源挥发性有机物排放主要集中在春季、夏季和秋季,其中排放量最大的月份为7、8月份。

[参考文献]

- [1] ALLISON S, CHAO L, YAN HUANG, et al. Past and present - day biogenic volatile organic compound emissions in East Asia [J]. Atmospheric Environment. 2002, 36: 4895 - 4905.
- [2] 闫雁,王志辉,白郁华,等. 中国植被 VOC 排放清单的建立 [J]. 中国环境科学 2005(1): 110 - 114.
- [3] 胡泳涛,张远航,谢绍东,等. 区域高时空分辨率 VOC 天然源排放清单的建立 [J]. 环境科学 2001(6): 1 - 6.
- [4] KELLOMAKI S. Calculation of foliage mass and foliage area. In:

Biogenic VOC emissions and photochemistry in the boreal regions of Europe [R]. 1999.

- [5] TERRI L B, CHRIS D G. User's guide to the personal computer version of the biogenic emissions inventory system [R]. 1995.
- [6] 王效科,牟玉静,欧阳志云,等. 太湖流域主要植物异戊二烯排放研究 [J]. 植物学通报 2002(2): 224 - 230.
- [7] 赵静,白郁华,王志辉,等. 我国植物 VOCs 排放速率的研究 [J]. 中国环境科学 2004(6): 15 - 18.
- [8] 张运林,秦伯强. 太湖地区光合有效辐射 (PAR) 的基本特征及其气候学计算 [J]. 太阳能学报 2002(1): 118 - 123.
- [9] 姜汉桥. 植物生态学 [M]. 2版. 北京: 高等教育出版社. 2010.
- [10] 本刊编辑部. 积温及计算方法 [J]. 广西园艺 2004(3): 53 - 55.

本栏目责任编辑 李文峻 陈宝琳

(上接第8页)

工作动态,有目标、有重点地做好环境质量综合分析。

3.3 强化基础信息支撑

环境质量综合分析涉及很多领域,高质量的综合分析报告除了需要科学完整且具有代表性的环境监测数据外,还需要多方面、多角度的信息作为支撑^[6],比如周边污染源排放状况、上下游水文水质情况、区域气象条件变化、社会经济发展状况等。平时要加强相关资料的积累,注意搜集相关的综合分析评价标准与技术方法、法律法规文件、会议材料、领导讲话、社会环境问题报导等,及时、准确、全面地捕捉与环境质量变化密切相关的各种信息、数据资料,做好储备。

3.4 丰富评价手段与表征形式

一方面,要加强综合分析信息化技术,充分利用 GIS、数理统计分析、模型构建等丰富评价表征手段。另一方面,要针对不同的服务对象,探索运用不同的综合分析表现形式。例如,面向环境管理与专业技术人员的技术型报告要求层次结构分明,并有详尽的数据支撑,面向领导的决策参考型报告要求简明扼要,着重规律问题分析及对策建议;面向公众的发布型报告要求通俗易懂,便于理解。总之要针对不同的受众者,寻找合适的切入话题,运用多种表征方式来反映环境质量。

3.5 建立信息共享与会商机制

由于影响环境变化的因素十分复杂,要说清环境质量变化原因,还需建立多部门、多地区信息共享与会商机制。一方面,要与各相关部门信息共

享,建立长期、有效的数据获取渠道,及时掌握与环境质量分析相关的数据信息。另一方面,要建立环境质量会商机制,在环保部门内部,需要监测、监察及相关管理部门共同商讨,在政府层面,需要环保、水利、气象等部门联合会商,结合多方面因素、各相关信息综合考虑、系统分析。

3.6 建设高素质的人才队伍

要加强高素质环境质量综合分析人才队伍建设,注重综合性素质的培养^[7]。一方面,强化综合分析工作培训与交流,既注重综合分析技术的培训,又兼顾环境法律法规、信息处理技术、统计分析技术等知识的传授;另一方面,开展与大专院校、科研院所的合作,借助课题研究、专项调查等科研工作平台,不断提高综合分析人员的业务水平与综合能力。

[参考文献]

- [1] 魏山峰. 统一思想,提高认识,不断提高环境质量综合分析工作水平 [J]. 中国环境监测 2007, 23(4): 3 - 5.
- [2] 刘媛媛,张琪,陈敏,等. 环境综合分析报告中数据统计问题的探讨 [J]. 干旱环境监测, 2012, 26(2): 123 - 125
- [3] 郭青,刘海燕,秦莹莹,等. 环境质量综合分析工作探讨 [J]. 环境科学导刊 2007, 26(增刊): 34 - 36.
- [4] 张宁红. 环境质量综合分析与创新思维 [J]. 环境监测管理和技术 2005, 17(4): 1 - 3
- [5] 郁晶,喻义勇. 提升综合分析服务环境管理水平的要素分析 [J]. 环境监控与预警 2011, 3(4): 54 - 56
- [6] 涂俊,王合生,张子凡,等. 环境综合分析报告的发展趋势 [J]. 环境监测管理和技术 2002, 14(1): 1 - 3
- [7] 洪浩林,吕春玲,刘新华. 加强环境质量综合分析,提升环境监测服务水平 [J]. 环境监测管理和技术 2004, 16(6): 6 - 7.

本栏目责任编辑 陈宝琳