

中国森林生态系统的异戊二烯排放研究

张莉^{1,2}, 王效科¹, 欧阳志云¹, 缪启龙² (1. 中国科学院生态环境研究中心系统生态室, 北京 100085; 2. 南京气象学院, 南京 210044)

摘要: 植被的非甲烷碳氢化合物 (non methane hydrocarbon, NMHC) 排放对大气环境变化有重要的影响, 异戊二烯是对流层最主要的 NMHC 之一. 本文应用 Guenther 的光温影响模型, 对 1993 年中国森林生态系统的异戊二烯排放量进行了估算. 结果发现: 中国森林生态系统异戊二烯总的排放量约为 $0.03 \sim 8.6 \text{ Tg/a}$, 对全球碳的贡献量以碳计为 $0.026 \sim 7.589 \text{ Tg/a}$, 年最大可能排放量约占全球年排放总量的 $1.5\% \sim 4.3\%$; 排放有较大的空间 (地域) 差异, 年排放大值区分布在南方多林区和东北地区, 以云南和黑龙江 2 省最大, 对全国排放的贡献率分别为 22% 和 11% ; 不同植被对总排放量的贡献率有较大差异, 贡献率较大的杨树和栎类分别达到 52.28% 和 44.29% .

关键词: 异戊二烯; 排放; 估算

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)01-08-0008

Estimation of Isoprene Emission from Forest Ecosystems in China

Zhang Li^{1,2}, Wang Xiaoke¹, Ouyang Zhiyun¹, Miao Qilong² (1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080, China; 2. Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Non-methane hydrocarbon (NMHC) emission from plants significantly affects the atmospheric environment change. Isoprene is the main NMHC in the troposphere. With the light-temperature model put forward by Guenther, isoprene emission from Chinese forest ecosystem was estimated. The result showed that the total isoprene emission was $0.03 \sim 8.6 \text{ Tg/a}$ and release $0.026 \sim 7.589 \text{ TgC/a}$, which is $1.5\% \sim 4.3\%$ of the global one. Isoprene emission has largely spatial variation, and the higher emissions occur in Southern and Northeast parts of China, where large forests are distributed. Yunnan and Heilongjiang are two higher emission provinces of China, and their contributions to the total are about 22% and 11% . The contribution varied with different species. The emissions from poplar and oak forests contribute 52.28% and 44.29% of the total, respectively.

Keywords: isoprene; emission; estimation

全球变暖、酸雨、光化学烟雾的形成都是当前不可忽视的环境问题. 痕量气体在当今环境问题中扮演着重要的角色, 在对流层大气化学中起着不可忽视的重要作用. 目前观测到的痕量气体浓度变化趋势表明, 痕量气体组分在发生着快速的变化^[1], 这种变化, 尤其那些短寿命、高活性的痕量气体的变化, 将对大气环境产生重要的影响. 非甲烷烃 (non methane hydrocarbon, NMHC) 是大气中的痕量组分之一, 在对流层大气中活性很强, 是城市光化学烟雾的重要前体物, 对酸沉降中有机酸的 formation 有重大的贡献, 且全球和区域尺度 NMHC 的植被排放已远远超过了人为排放量^[2,3]. 因此, 引起了研究者对植被 NMHC 排放的关注.

研究表明, 异戊二烯是含量最大的生物排放的挥发性有机碳化合物 (biological volatile organic compounds, BVOCs)^[3,4], 是对流层最主要的 NMHC 之一. 其排放量占植物碳氢化合物 (hydrocarbons, HCs) 总排放量的一半^[5], 并且通常是农村和边远地区大气边界层中含量最大的 NMHC, 甚至可以影响到城市地区的大气化学^[6]. 因此, 对区域尺度异戊二烯的植被排放进行研究将有利于人们了解植被对于大气中 NMHC 的贡献, 从而可为进一步探讨植被对大

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (49899270-06); 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1-SW-01-017); 中科院知识创新基金项目 (RCEES9903)

作者简介: 张莉 (1978 ~), 女, 山东济宁人, 硕士. 主要从事气候与环境方向的研究.

收稿日期: 2002-04-08; 修订日期: 2002-07-10

气环境变化的贡献提供重要依据。

本文利用我国森林资源普查资料,采用 Guenther 提出的光温影响模型,估算了我国森林生态系统的异戊二烯排放量,并分析了排放的分布规律。这对认识中国区域,特别是农村地区大气化学特征、O₃ 浓度分布规律形成有重要作用。

1 研究方法

1.1 模式简介

研究发现,植物排放异戊二烯的速率主要受温度、光照的影响。异戊二烯排放率随叶温和光照的增加而增加,当光撤去时,排放很快降至零^[7,8],在叶温低于 30℃时排放随叶温的上升而指数增加^[9],在完全光照的中等水平并且温度约 40℃的条件下达到饱和^[10,11]。因此采用 Guenther 等提出的以叶温和光合有效辐射为基本变量的排放通量计算公式,根据本文计算需要写成如下排放量计算形式:

$$E = \sum_i E_i = \sum_i E_{0i} \cdot \delta_i \cdot \nu_i \cdot B_{li} \quad (1)$$

其中, E_i 是 i 树种的排放量; E_{0i} 是标准温度 ($T = 303\text{ K}$) 和标准光强 ($\text{PAR} = 1000\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$) 下, i 树种的异戊二烯排放潜力,单位: $\mu\text{g} \cdot (\text{gdw} \cdot \text{h})^{-1}$; ν 是排放活性因子,它是叶温 (T , 单位 K) 和光合有效辐射 (PPFD, 单位 $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$) 的函数。

$$\nu = c_{L1} c_T = \left| \frac{\alpha_{L1} L}{\sqrt{1 + \alpha^2 L^2}} \right| \cdot \left| \frac{\exp\left[\frac{c_{T1}(T - T_S)}{RT_S T}\right]}{1 + \exp\left[\frac{c_{T2}(T - T_M)}{RT_S T}\right]} \right| \quad (2)$$

其中, T_S 为标准条件下的叶温,单位 K; T 为叶温(单位 K),由于缺乏叶温观测资料,且能量守恒方法计算叶温较复杂,考虑到叶温和气温的平均差别不是很大,因此本文直接用气温代替叶温计算; $\alpha = 0.0027$, $c_{L1} = 1.066$; $c_{T1} = 95000\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$, $c_{T2} = 2300\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$, $T_M = 314\text{ K}$, 这为以 3 种植物(桉树、白杨和大豆)测量结果为基础的经验系数。研究表明,这些常数可广泛

应用于各种不同的植物;^[12] B_{li} 是叶生物量(单位 g); δ 是考虑长期排放活性的控制变量^[13]。

$$\delta = \begin{cases} 0 & J < J_0, J > (J_0 + J_D) \\ \sin(J - J_0)/J_d & J_0 \leq J \leq (J_0 + J_D) \end{cases}$$

其中, J 为当前天, J_0 为异戊二烯的始排日期, J_D 为异戊二烯排放的天数。研究发现,幼嫩叶片没有异戊二烯的排放,在出叶后 4 周和排放开始 2 周后达到最大排放率^[14]。本文取展叶盛期为异戊二烯的始排期,叶全变色期为排放停止期 $J_0 + J_D$,该值根据我国的物候观测资料——《中国农业物候图集》和相应的差值计算获得,如表 1 所示。其中,毛竹、桉树以常绿树种计,假设全年都有排放。对于缺物候期资料的树种,根据植被生长特点用物候期相近的植被进行替代,做近似处理。

表 1 各省异戊二烯排放植被物候期

Table 1 Phenophase of the isoprene emission plant of every province

省	树种	J_0 /月·日		$J_0 + J_D$ /月·日	
内蒙古	栎类	6	12	10	4
	杨树	5	30	9	17
黑龙江	栎类	5	25	10	17
	椴树类	5	25	10	17
	杨树	5	21	10	3
甘肃	栎类	5	8	10	28
	椴树类	5	8	10	28
	杨树	4	11	10	13
	桐类	4	11	10	13
宁夏	栎类	5	8	10	28
	椴树类	5	8	10	28
	杨树	4	25	10	11
山西	栎类	5	1	10	30
	杨树	4	15	10	14
	栎类	5	3	10	31
	杨树	4	11	10	13
吉林	栎类	5	20	10	20
	椴树类	5	20	10	20
	杨树	5	13	9	28
辽宁	栎类	5	9	10	28
	杨树	4	27	10	11
北京	栎类	5	6	11	1
	椴树类	5	6	11	1
	杨树	4	21	10	11

续表 1

省	树种	J_0 /月-日		$J_0 + J_D$ /月-日	
天津	栎类	5	1	11	2
	椴树类	5	1	11	2
	杨树	4	16	10	14
河北	栎类	5	6	11	1
	椴树类	5	6	11	1
	杨树	4	21	10	11
	桐类	4	21	10	11
山东	栎类	4	26	11	6
	杨树	4	10	10	21
	桐类	4	10	10	21
四川	栎类	4	11	11	13
	椴树类	4	11	11	13
	桉树	0	0	0	0
	杨树	3	21	10	26
	桐类	3	21	10	26
云南	栎类	4	25	11	21
	桉树	0	0	0	0
	杨树	4	12	10	20
河南	栎类	4	26	11	6
	杨树	4	8	10	2
	桐类	4	8	10	21
湖北	栎类	4	16	11	13
	椴树类	4	16	11	13
	杨树	4	1	10	26
湖南	栎类	4	11	11	18
	杨树	4	1	11	1
	桐类	4	1	11	1
贵州	栎类	4	16	11	21
	桉树	0	0	0	0
	桐类	3	28	11	2
江苏	栎类	4	16	11	16
	杨树	4	5	10	27
	桐类	4	5	10	27
安徽	栎类	4	16	11	15
	杨树	4	5	10	27
	桐类	4	5	10	27
浙江	栎类	4	11	11	18
	杨树	4	4	10	31
福建	栎类	4	1	11	25
西藏	栎类	5	8	10	28
新疆	杨树	4	26	10	10
青海	杨树	4	16	10	14
广西	栎类	3	25	11	2
江西	栎类	4	3	11	24

1.2 资料收集和处理

(1)排放潜力 根据已有的观测结果得知,我国排放异戊二烯的主要优势树种为:栎树、杨树、毛竹、椴树、樟树、桉树、桐类。目前文献报道的排放潜力的观测结果多为一定的域值^[12,15~21],且相关的国内外研究之间也各有差异,本研究主要采用国内的观测结果,并取排放潜力的最大、最小值分别计算各主要优势树种异戊二烯排放的年最大和最小可能量,各主要优势树种的异戊二烯排放潜力见表 2。

(2)气象因子 气象资料源于中国地面气象资料月报和中国气象辐射资料年册,全国各省共 30 个地面气象观测站点 1993 年全年的每日最高最低气温和总辐射值。本文采用 3 次样条插值方法求得每日日间各小时的温度和光合有效辐射。

3 次样条插值方法是一种根据有限点的函数值拟合某个区间各点值的方法,3 次样条函数插值既可以保证各结点的拟合值与实际值严格相等,同时又保证各结点的光滑连接,具有最小模性质和最佳逼近性质,其解是唯一的。

光合有效辐射(PAR)是指太阳辐射中能被绿色植物用来进行光合作用的那部分能量,是评价地区气候资源的一个重要指标。但是,迄今为止 PAR 尚未列入常规气象观测项目,一般根据经验公式间接进行推算。可根据总辐射观测值,采用 3 次样条插值方法得出各时刻的比光合有效辐射^[22,23],进而得出各时刻光合有效辐射值。

温度日变化模拟同样采用 3 次样条插值方法。翁笃鸣等^[24]的研究指出,日最低温度通常出现在日出前 20 min,日最高温度通常出现在 14:00~15:00BT 左右。本文取最高温度在 14:30BT 出现,最低温度在日出前 20 min 出现,该两点处温度对时间的一阶导数取为 0。即可得出各时刻的温度值。

* 张劲松.侧柏释放异戊二烯的影响因素的研究及几种大气中痕量有机气体与氮氧化物化学反应的激光磁共振研究(硕士论文).中国科学院生态环境研究中心,1997

(3)叶生物量 叶生物量的估算主要是根据已有的全国各省优势树种的蓄积量统计资料,以及叶在总生物量中所占的比例推算得到各优势树种的叶生物量值.

表 2 我国排放异戊二烯的主要优势树种及其排放潜力/ $\mu\text{g}\cdot(\text{gdw}\cdot\text{h})^{-1}$

Table 2 Isoprene emission factors of main preponderant tree species of China/ $\mu\text{g}\cdot(\text{gdw}\cdot\text{h})^{-1}$							
树种	栎类	杨树	桐类	毛竹	桉树	樟树	椴树
排放潜力	1.28 ~ 222.17	93.25 ~ 271.62	20.5 ~ 232.0	92.69 ~ 139.39	8.0 ~ 57.0	4.27 ~ 16.34	1 ~ 10

优势种蓄积统计资料采用林业部主编的《全国森林资源统计(1989 ~ 1993)》,内容包括全国主要优势种森林类型(38种)的各林龄级面积和蓄积量,各省市的各林龄级针叶林和阔叶林的面积和蓄积量.

优势种叶生物量计算方法:

$$B_l = V \times D_{\text{干}} / P_{\text{干}} \times P_{\text{叶}}$$

其中, B_l 叶生物量, V 是蓄积量, $D_{\text{干}}$ 树干密度, $P_{\text{干}}$ 树干重占乔木层总生物量的比例, $P_{\text{叶}}$ 叶占总乔木层生物量的比例.相应数据如表 3、4 和 5 所示*.

表 3 主要林木树干的密度/ $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 3 Densities of trunks/ $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$			
林木名称	树干密度	林木名称	树干密度
樟树	0.41	栎类	0.68
椴树类	0.38	桉树	0.55
杨树	0.38	桐类	0.26

表 4 中国主要森林生态系统类型不同林龄级的树干生物量占乔木层生物量的比例/ %

Table 4 The percent of trunk biomass in arborous layer/ %					
森林生态系统	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
落叶栎林	46.46				
杨树林	54.18	46.84		36.23	
东部常绿阔叶林	55.17	54.29		62.54	51.51

毛竹叶生物量计算方法:

根据毛竹的生长等级和生长等级与单株平均生长关系推算得到其叶生物量,即确定生长等级→插值得到枝叶鲜重→叶鲜重→叶干重.

我国毛竹林可分为 5 个生长级^[25],由于缺乏各省详细的生长级资料,本研究中,假设各省的毛竹均处于中间生长级,即第三生长级.由文

献[23]得到枝叶鲜重 $5.73\text{kg}/\text{株}$,然后根据文献[26]提供的叶/枝叶鲜重分配比例得到叶鲜重,再根据文献[23]求得的叶平均含水率得到叶干重值.总的叶生物量值即可由该单株叶干重和统计资料中毛竹的总株数求得.

表 5 中国部分森林生态系统乔木层生物量在各器官的分配比例/ %

Table 5 Biomass allocation into stem and leaf in the total arborous layer/ %				
群落名	植被类型	林龄级	树干	树叶
落叶栎林	杂木、栎类、硬阔类、椴树类、水胡黄	S	46.46	5.21
杨树林	桐类、软阔类、杨树	S	54.18	3.16
		M	46.84	2.63
		A	36.23	5.36
东部常绿阔叶林	阔叶混、热带林、樟树、楠木、樟树、桉树、木麻黄	S	55.17	3.63
		M	54.29	5.37
		A	62.54	4.21
		O	51.51	2.56

其中, S 为幼龄林, M 为中龄林, A 为成熟林, O 为过熟林

2 结果与分析

2.1 异戊二烯排放量的空间分布

由估算结果(如表 6)可以看出,异戊二烯排放量有着很大的空间(地域)差异,且各省区排放量之间有量级差异.异戊二烯的主要排放区集中在西南和东北地区.其中,云南植被的异戊二烯的平均总排放量最大,对全国总量的贡献率约 22%,黑龙江占第二位,有 11%之多,四川、福建、陕西、江西、广西以及吉林的总排放量也相对较高,都在 5%以上;而东南沿海的大部分省市贡献率都相对较小,其植被的异戊二烯

* 王效科,中国森林生态系统的生物量、碳贮量和生物质燃烧释放的含碳气体(博士论文).中国科学院生态环境研究中心,1996

排放量还不及全国总量 1 %;西北的青藏高原 于其植被面积分布较少 ,对总排放量的贡献相
区为低排放区 ,这是该地区的异戊二烯排放植 对更少 ,3 地之和仅有 0. 22 % .
被分布较少 ,气温较低 ;而北京 、上海和天津由 笔者将单位面积优势种的异戊二烯排放量

表 6 各省主要优势树种异戊二烯全年 (1993)排放量估算结果/ Gg

Table 6 Isoprene emission of China(1993)/ Gg						
省份	排放优势种	总叶生物量	最大可能排放量	最小可能排放量	平均排放量	贡献率/ %
云南	栎桉杨毛竹	3 .28 E+ 04	1944 .7354	13 .3813	979 .05835	21 .90
黑龙江	栎椴杨	2 .08 E+ 04	940 .5479	56 .2862	498 .41705	11 .15
四川	栎椴桉杨桐樟毛竹	8 .83 E+ 03	761 .2363	20 .7314	390 .98385	8 .74
福建	栎樟毛竹	4 .01 E+ 03	737 .6072	5 .4822	371 .5447	8 .31
陕西	栎杨毛竹	9 .95 E+ 03	666 .6857	32 .3922	349 .53895	7 .82
江西	栎樟毛竹	3 .59 E+ 03	602 .7796	4 .6674	303 .7235	6 .79
吉林	栎椴杨	1 .05 E+ 04	456 .6528	23 .9536	241 .8032	5 .41
广西	栎桉杨桐樟毛竹	3 .04 E+ 03	474 .2831	3 .6298	238 .95645	5 .34
辽宁	栎杨	3 .16 E+ 03	257 .8157	18 .2988	138 .05725	3 .09
内蒙古	栎杨	7 .17 E+ 03	237 .9491	31 .6379	134 .7935	3 .01
湖北	栎椴杨樟毛竹	2 .35 E+ 03	259 .1647	3 .8879	131 .7935	2 .94
河南	栎杨桐	2 .15 E+ 03	230 .0503	3 .4703	116 .7603	2 .61
湖南	栎杨桐樟毛竹	1 .71 E+ 03	205 .9063	1 .9794	103 .94285	2 .32
甘肃	栎椴杨桐	2 .96 E+ 03	179 .0072	11 .7022	95 .3547	2 .13
河北	栎椴杨桐毛竹	1 .29 E+ 03	125 .9536	22 .4062	74 .1799	1 .66
山西	栎杨	1 .50 E+ 02	102 .9236	5 .4085	54 .16605	1 .21
新疆	杨	7 .65 E+ 02	76 .4728	26 .2539	51 .36335	1 .15
浙江	栎杨毛竹	6 .95 E+ 02	81 .8865	0 .9794	41 .43295	0 .93
贵州	栎椴杨桐樟毛竹	7 .24 E+ 02	66 .2219	5 .0041	35 .613	0 .80
安徽	栎杨桐毛竹	5 .63 E+ 02	65 .1987	3 .1887	34 .1937	0 .76
山东	栎杨桐	2 .02 E+ 02	27 .8776	7 .7177	17 .79765	0 .40
西藏	栎	8 .21 E+ 02	31 .7789	0 .1831	15 .981	0 .36
海南	桉毛竹	1 .51 E+ 02	26 .0648	3 .7741	14 .91945	0 .33
广东	桉毛竹	2 .15 E+ 02	24 .955	3 .7169	14 .33595	0 .32
北京	栎椴杨	1 .50 E+ 02	15 .0962	1 .5936	8 .3449	0 .19
江苏	栎杨桐毛竹	7 .40 E+ 01	9 .3677	2 .1228	5 .74525	0 .13
宁夏	栎椴杨	1 .01 E+ 02	8 .3093	2 .4298	5 .36955	0 .12
青海	杨	6 .61 E+ 01	3 .3854	1 .1622	2 .2738	0 .05
天津	栎椴杨	1 .64 E+ 01	2 .0914	0 .6165	1 .35395	0 .03
上海	毛竹	2 .95 E- 03	0 .0005	0 .0003	0 .0004	0 .00
全国总计		1 .20 E+ 05	8625 .0052	318 .0584	4471 .5318	100 .00

定义为异戊二烯排放强度 ,并绘图 .由强度分布 图(略) 可以看出 ,高排放强度区分布在我国的

南方,其中以云南、福建、江西、四川和广西的排放强度较大,而排放总量较大的东北地区则相对较小.这一现象的出现与东北地区单位面积上的蓄积量较南方少得多有关.

2.2 我国各主要优势树种年总排放量差异

估算结果显示,各树种对全国异戊二烯排放总量的贡献率相差很大.其中,栎树和杨树这2种排放量较大的树种对全国异戊二烯年总排放量的平均贡献率较大,分别为52.28%和44.29%.虽然桐类和毛竹的排放潜力也较大,但由于其在我国的蓄积较少,而使得它们对于全国总排放量的贡献相对也较小.树种贡献率的这种不均衡性在中国得到很好的反映(如表7).

表7 各主要优势树种异戊二烯的年排放量(1993)/Gg

Table 7 Isoprene emission of the preponderant trees during one year/ Gg				
树种	叶总生物量	最大可能排放量	最小可能排放量	平均贡献率/ %
栎类	100055.4968	7788.11	44.87	52.28
椴树类	1735.3294	3.79	0.38	0.08
桉树	415.2541	68.05	12.30	2.33
杨树	9797.8507	739.02	253.71	44.29
桐类	145.6759	6.34	0.56	0.13
樟树	88.8874	1.95	0.51	0.09
毛竹	32.7127	7.22	4.80	0.80
总计	112271.2071	8614.48	317.13	100.00

3 讨论

3.1 全球已有排放结果比较

1993年全国主要异戊二烯排放优势树种的总排放量约为0.03~8.6Tg/a.比较已有结果(如表8)可以看出,我国的全年排放量与美国有相同的量级,中非的排放量相对较大.我国异戊二烯的排放对全球碳的贡献约为0.026~7.589Tg/a,而全球isoprene的自然排放对全球碳的贡献为175~503Tg/a,我国异戊二烯排放对全球异戊二烯的最大可能贡献率约1.5%~4.3%.

3.2 误差和不确定性

计算误差主要来自:①光温校正计算中的

误差,②生物量计算中的误差,③排放潜力的不稳定性带来的误差.在光照校正系数计算中,当光合有效辐射处于较低值区时对校正系数准确性的影响较大;PAR>300的范围,PAR值相差10时,系数 C_L 相对误差小于1.5%;PAR值相差50时,系数 C_L 相对误差小于10%.温度校正系数对温度的敏感性较大.温度变化1℃时,温度越高引起的 C_T 误差相对越小($T<40℃$);温度在20℃~32℃之间时,变化1℃引起的 C_T 相对误差均>10%;温度愈低, C_T 对应的相对误差愈大.当温度>40℃以后,随着温度的升高,相对误差又逐渐增加.

表8 异戊二烯排放定量研究结果(C)/Mt·a⁻¹

Table 8 Quantitative results of isoprene emission/ Mt·a ⁻¹			
国家	计算对象	排放量	出处
美国	异戊二烯	4.3	Lamb et al ^[27] [1987]
美国	异戊二烯	5.8	Lamb et al ^[28] [1993]
中非	异戊二烯	30	Guenther ^[29] [1999]
芬兰	异戊二烯	南部 ¹⁾ :150	Kellomaki et al ^[30] [2001]
全球	异戊二烯	北部 ¹⁾ :40	Guenther ^[3] [1995]
全球	异戊二烯	506	Zimmerman ^[31] [1979]
全球	异戊二烯	350	Rasmussen and Khalil ^[32] [1998]
全球	异戊二烯	452	Dignon and Logan ^[33] [1990]
全球	异戊二烯	450	Taylor et al ^[34] [1990]
全球	异戊二烯	175	Turner et al ^[35] [1991]
全球	异戊二烯	285	Muller ^[36] [1992]
全球	异戊二烯	250	Allwine et al ^[37] [1992]
全球	异戊二烯	420	Guenther ^[3] [1995]
中国	异戊二烯	503	本研究

1) 单位为 kg·(km²·a)⁻¹

叶是异戊二烯排放的主要器官,叶生物量计算的准确性,以及异戊二烯排放物种生物量调查资料的详细程度对计算结果有直接的影响.而目前,对植被的叶生物量的直接调查较少,且统计资料中仅对优势树种的蓄积进行了统计,一些排放较大的树种被忽略,从而会导致估算结果的偏低.由于缺乏各地生物量的详细调查资料,用资料反推,估算叶生物量的过程中必然有一定的误差.

排放潜力的准确测定是估算研究的重要基础,然而从目前的观测结果来看,由于受到地理条件、观测方法、观测仪器等因素的影响,所得

物种的异戊二烯排放参数非常不稳定.另外,观测仍缺乏统一的规范,造成结果的差异很大.以杨树为例,如表 9.

表 9 杨树排放参数测定对比/ $\mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$

Table 9 Comparison of isoprene emission factor of aspen in different observation/ $\mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$

排放速率	4.4	5.5	39.8	32~44	23.3	93.25, 119.64, 271.62
文献出处	白郁华等 ^[38]	白郁华等 ^[38]	白郁华等 ^[38]	赵美萍等 ^[16]	牟玉静等 ^[12]	王效科等

因此,为提高计算的准确程度,我们还应该在寻求更好的模拟计算方法、进行更详细的生物量调查以及排放潜力的准确测定等方面做大量的工作.

3.3 环境影响分析

大气化学数值模拟研究发现,天然源碳氢化合物对局部地区的臭氧浓度有一定的影响.^[39,40] NMHC 和 NO_x 是光化学臭氧的主要前提物,当 NMHC/NO_x 比值较高,并有充足的 NMHC 来源时,光化学臭氧的控制因子为 NO_x. 减少 NMHC 对臭氧减少作用不大,甚至稍有增加.根据 NMHC 的 I_{POCP} 值,含异戊二烯在内的烯烃是单位碳质量对光化学臭氧贡献较大的物种之一,并且由于烯烃的活性高、寿命短,输送距离有限,主要表现为局地污染.^[41] 因此,在异戊二烯高排放树种广泛集中分布的地区,植被的异戊二烯排放对当地的大气环境的贡献应引起足够的重视.

4 小结

(1) 我国异戊二烯的植被排放有较大的空间(地域)差异,年排放大值区分布在南方多林区 and 东北地区,这一结果与各地的植被分布有着极为密切的关系.

(2) 不同植被对总排放量的贡献率差异较大,其中杨树和栎类对我国异戊二烯排放的贡献率相对较大,分别为 52.28% 和 44.29%.

(3) 我国主要异戊二烯排放优势树种的总排放量约为 0.03~8.6 Tg/a. 异戊二烯排放对全球碳的贡献为 0.026~7.589 Tg/a, 年最大可能排放量约占全球年排放总量的 1.5%~4.3%.

参考文献:

1 Guenther A, B Baugh G Brasseur et al. Isoprene emission estimates and uncertainties for the Central Africal EXPRESSO study domain. *J. Geophysical Res.*, 1999, **104**(D23) :30625~30639.

2 Lamb B, Guenther A, Gay D, Westaberg H. A national inventory of biogenic hydrocarbon emissions. *Atmos. Environ.*, 1986, **21**:169~1705.

3 Guenther A B, Hewitt C N, Erickson D et al. A global model of natural volatile organic compound emissions. *J. Geophysical Research*. 1995, **100**(D5) :8873~8892.

4 Guenther A B, Zimmerman P R, Wildermuth M. Biogenic volatile organic compound rage estimates for U.S. woodland landscapes. *Atmos. Environ.*, 1994, **28**:1197~1210.

5 唐孝炎, 李金龙, 栗欣等. 大气环境化学, 第一版. 北京: 高等教育出版社, 1990. 51.

6 Fehsenfeld F C, Calvert J, Fall R et al. Emissions of volatile organic compounds from vegetation and the implications for atmospheric chemistry. *Global Biogeochem. Cycles.*, 1992, **6**: 389~430.

7 Monson R K, Guenther A B, Fall R. Physiological reality in relation to ecosystem and global-level estimates of isoprene emission. In Sharkey T D, Holland E A, Mooney H A(eds). *Trace Gas Emissions from Plants*. Academic Press, San Diego. 1991. 185~207.

8 Loreto F, Sharkey T D. On the relationship between isoprene emission and photosynthetic metabolites under different environment conditions. *Planta*, 1993b, **189**:420~424.

9 Guenther A B, Zimmerman P, Harley P C et al. Isoprene and monoterpene emission rate variability: model evaluations sensitivity analysis. *J. Geophysical Research*, 1993, **98**(D7) : 12609~12617.

10 Tingey D T, Manning M, Grothaus L C et al. The influence of light and temperature on isoprene emission from live oak. *Physiologia Plantarum*, 1979, **47**:112~118.

11 Guenther A B, Monson R K, Fall R. Isoprene and monoterpene emission rate variability: Observations with Eucalyptus and emission rage algorithm development. *J. Geophysical Re-*

- search, 1991, **96**(D6) : 10799 ~ 10808 .
- 12 牟玉静, 宋文质, 张晓山等. 落叶阔叶树异戊二烯排放研究. 环境化学, 1999, **18**(1) : 21 ~ 27 .
- 13 Guenther A. Seasonal and spatial variations in natural volatile organic compound emissions. Ecological Applications, 1997, **7**(1) : 34 ~ 45 .
- 14 Goldstein A H, Goulden M L, William Munger J et al. Seasonal course of isoprene emissions from a midlatitude deciduous forest. J. Geophysical Research, 1998, **103**(23) : 31045 ~ 31056 .
- 15 Kesselmeier J, Staudt M. Biogenic volatile organic compounds (VOC) : An overview on emission, physiology and ecology. J. Atmospheric Chemistry, 1999, **33** : 23 ~ 88 .
- 16 赵美萍, 邵敏, 白郁华, 李金龙, 唐孝炎. 我国几种典型树种非甲烷烃类的排放特征. 环境化学, 1996, **15**(1) : 69 ~ 75 .
- 17 张福珠, 苗鸿, 鲁纯. 落叶阔叶林释放异戊二烯的研究. 环境科学, 1994, **15**(1) : 1 ~ 5 .
- 18 杜晓明, 刘厚田, 柳若安, 陆妙琴, 王玉保. 厦门地区大气中致酸物质的天然源排放研究. 环境科学研究, 1996, **9**(5) : 17 ~ 20 .
- 19 Winer A M, Fitz D R, Miller P R. Investigation of the role of natural hydrocarbons in photochemical smog formation in California. Contract No. AO-056-32, prepared for the California, U. S. A. 1983 .
- 20 Evans R C, Tingey D T, Gumpertz M L, Burns W F. Estimates of isoprene and monoterpene emission rates in plants. Bot. Gaz., 1982, **143** : 304 ~ 310 .
- 21 Guenther A, Greenberg J, Harley P, Helmig D, Klinger L, Vierling L, Zimmerman P, Geron C. Leaf, branch, stand and landscape scale measurements of volatile organic compound fluxes from U. S. woodlands. Tree Physiol., 1996, **16** : 17 ~ 24 .
- 22 刘建栋, 傅抱璞, 林振山. 利用三次样条函数模拟光合和有效辐射日变化的研究. 南京大学学报(地学专辑), 1996, **32** : 51 ~ 55 .
- 23 周允华, 项月琴, 单福芝. 光合和有效辐射的气候学研究. 气象学报, 1984, **42**(4) : 387 ~ 397 .
- 24 翁笃鸣. 小气候和农田小气候. 北京: 农业出版社, 1981 . 100 ~ 101 .
- 25 南京林产工业学院竹类研究室. 竹林培育. 北京: 农业出版社, 1974, 173 ~ 187 .
- 26 李党训, 廖水成. 毛竹生长规律初探. 湖南林业科技, 1998, **25**(4) : 28 ~ 30 .
- 27 Brian Lamb, Alex Guenther, David Gay, Hal Westberg. A National Inventory of Biogenic Hydrocarbon Emissions. Atmospheric Environment, 1987, **21**(8) : 1695 ~ 1705 .
- 28 Lamb B, Gay D, H Westberg. A biogenic hydrocarbon emission inventory for the U. S. A using a simple forest canopy model. Atmospheric Environment, 1993, **27A**(11) : 1673 ~ 1690 .
- 29 Guenther A, Baugh B, Brasseur G. et al. Isoprene emission estimates and uncertainties for the Central African EXPRESO study domain. J. Geophysical Res., 1999, **104**(D23) : 30625 ~ 30639 .
- 30 Kellomaki S, Ismo Rouvinen, Heli Peltola, Harri Strandman. Density of foliage mass and area in the boreal forest cover in Finland, with applications to the estimation of monoterpene and isoprene emissions. Atmospheric Environment, 2001, **35** : 1491 ~ 1503 .
- 31 Zimmerman P R. Determination of emission rates of hydrocarbons from indigenous species of vegetation in the Tampa/ St. Petersburg, Florida area. , Appendix C. Tampa Bay area Photochemical oxidant study. 1979, EPA-904-9-77, U. S. Environmental Protection Agency, Region IV, Atlanta, Georgia .
- 32 Rasmussen R A, Khalil M A K. Isoprene Over the Amazon Basin. Journal of Geophysics Research, 1988, **93** : 1417 ~ 1421 .
- 33 Dignon J, Logan J. Biogenic emissions of isoprene: A global inventory. EOS, Trans. AGU, 1990, **71** : 1260 .
- 34 Taylor J, Zimmermann P, Erickson D. A 3-D modeling study of the sources and sinks of atmospheric carbon monoxide. CRES Works, Pap. 199013, Aust. Nat. Univ., Canberra .
- 35 Turner D, Baglio J, Pross D, Wones A, Mc Veety B, Vong R, Philips D. Climate change and isoprene emissions from vegetation. Chemosphere, 1991, **23** : 37 ~ 56 .
- 36 Mueller J F. Geographical distribution and seasonal variation of surface emissions and deposition velocities of atmospheric trace gases. J. Geophys. Res., 1992, **97** : 3787 ~ 3804 .
- 37 Allwine G, Lamb B, Westberg H. Cited in Fehsenfeld et al. Global Biogeochem. cycles, 1992, **6** : 389 ~ 430 .
- 38 白郁华, 李金龙, 赵美萍, 夏羽, 唐孝炎. 杨树排放碳氢化合物的相关因素. 环境化学, 1995, **14**(2) : 118 ~ 123 .
- 39 彭立新, 唐孝炎, 白郁华, 李金龙. 天然源排放碳氢化合物对广州地区光化学污染的影响. 中国环境科学, 2000, **20**(2) : 132 ~ 135 .
- 40 Pierce T, Christopher Geron, Lucille Bender, Robin Dennis, Gail Tonnesen, Alex Guenther. The influence of increased isoprene emissions on regional ozone modeling. Journal of Geophysical Research, 1998, **103**(D19) : 25611 ~ 25629 .
- 41 朱彬, 李子华, 肖辉, 黄美元. 非甲烷碳氢化合物的光化学臭氧生成潜势的数值模拟研究. 南京气象学院学报, 2000, **23**(3) : 338 ~ 345 .