

浙江省 1991 ~ 2006 年森林火灾释放黑碳量的估算

杨国福¹, 江 洪^{1,2,*}, 余树全¹, 周国模¹, 贾伟江³

(1. 浙江林学院国际空间生态与生态系统生态研究中心, 浙江临安 311300;

2. 南京大学国际地球系统科学研究所, 江苏南京 210093; 3. 浙江省林业厅, 浙江杭州 310002)

摘要:黑碳气溶胶不仅造成环境污染危害人的健康,同时通过吸收太阳和大气辐射产生的辐射强迫对全球和区域产生影响,成为影响全球变暖的仅次于 CO₂ 的重要成分。在全球变暖及大气中 CO₂ 浓度不断升高的趋势下,各国开始采用造林再造林来减缓全球变暖的趋势,随着森林面积和林内生物量的不断增加,以及森林火灾的频发,林火带来的黑碳排放量也不容忽视。然而,在世界上大部分地区,这方面的工作却很少被人所关注。根据 1991 ~ 2006 年浙江省森林火灾统计资料和浙江省各种森林类型地上生物量的数据,计算出了浙江省每年的森林火灾导致的生物量损失量。同时采取释放因子法,对 1991 ~ 2006 年浙江省每年森林火灾释放的黑碳量进行了估算。其中 1995 年和 2000 年森林火灾释放的黑碳总量分别是 38.4、97.2 t,占整个浙江省黑碳排放总量中的比重分别是 0.12%、0.17%,对于区域大气质量有一定的影响。

关键词:黑碳;森林火灾;生物量损失

文章编号:1000-0933(2009)05-2612-10 中图分类号:Q143,X171 文献标识码:A

Black carbon emission from forest fires of Zhejiang Province during 1991 — 2006

YANG Guo-Fu¹, JIANG Hong^{1,2,*}, YU Shu-Quan¹, ZHOU Guo-Mo¹, JIA Wei-Jiang³

1 International Center of Spatial Ecology and Ecosystem Ecology, Lin'an 311300, Zhejiang, China

2 International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China

3 Zhejiang Forestry Department, Hangzhou 310020, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2612 ~ 2121.

Abstract: Black carbon aerosol is a serious environment problem because it raised global warming as increase rapidly the CO₂ concentration and atmospheric radiation, and polluted air quality, as well as impacted human health. With the increasing of forest area and biomass due to afforestation and reforestation in subtropical China, forest fire frequency becomes more high and it make big contribution to black carbon. It is very important to estimate the amount of black carbon released from forest fire in regional scale, however, there are paying less attention to it in most area of world. Based on statistical data of forest fire and the biomass of forest types in Zhejiang Province from 1991 to 2006 year, this paper reported the estimation of biomass burning from forest fire every year of Zhejiang. Meanwhile, the annually amount of black carbon released from forest fires during 1991 to 2006 year were measured using emission factors. The amount of black carbon released from forest fires from 1995 to 2006 year are from 38.4 t/yr to 97.2 t/yr, The proportion of black carbon released by forest fire are 0.12% and 0.17% of whole black carbon emission in Zhejiang province in 1995 and 2006 respectively, they influence seriously air quality in the regional scale.

Key Words: black carbon; forest fire; biomass burning

基金项目:杭州市科技局资助项目(20052112A11);宁波市科技局资助项目(2007C10032);国家科技部 973 资助项目(No. 2002CB111504, 2002CB410811, 2005CB422208);国家自然科学基金资助项目(40671132);国家科技部数据共享平台建设资助项目(No. 2006DKA32300-08)

收稿日期:2008-06-24; 修订日期:2009-02-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hongjiang.china@gmail.com

黑碳气溶胶(black carbon, 或 BC)一般是碳质燃料(包括化石燃料、生物燃料等)不完全燃烧过程中产生的^[1],政府间气候变化委员会(IPCC)第三次评估报告对其科学定义是:根据光吸收、化学反应和/或热稳定性测量定义的一类气溶胶,它主要由烟炱、木炭以及可以吸收辐射的耐火有机物组成^[2]。黑碳气溶胶与工业污染、交通、森林火灾、燃煤、农业废弃物的燃烧等相关^[3],是大气气溶胶的重要组成部分,其粒径主要约在 $0.01 \sim 1.0 \mu\text{m}$ ^[4],在大气中的浓度非常低,在偏远地区和人口众多的城市大气中它的浓度数量级分别为 $10^{-9} \text{g}/\text{m}^3$ 和 $10^{-6} \text{g}/\text{m}^3$,占大气气溶胶中的 $0.2\% \sim 1.0\%$ ^[5],但是其产生的环境效应非常巨大^[6]。

首先,黑碳的直接辐射强迫作用超过 CH_4 ,成为影响全球变暖的仅次于 CO_2 的重要成分。Jacobson 的研究表明,来源于化石燃料和生物燃烧的黑碳会影响气溶胶的反射率,从而吸收更多的太阳辐射,减小气溶胶的冷却效果^[7],其加热效果有可能抵消硫酸盐气溶胶的冷却效果^[8]。Jacobson^[7] 的模型研究表明,黑碳的直接辐射强迫为 $0.55 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。而 Hansen 等^[9] 的研究认为黑碳的直接辐射强迫为 $0.55 \sim 1 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。此外,黑碳具有多孔性,在大气输送过程中可以捕获二次污染物,影响了大气组成和大气化学过程^[10],间接带来更多的环境问题^[11]。黑碳气溶胶的光吸收特性会减少空气透明度^[12, 13],并通过改变云层凝结核的吸湿能力来影响云层的反射率^[14, 15],同时阳光对黑碳的加热作用减少了天空中的云量^[16]。Chameides 等^[17] 的研究显示,黑碳气溶胶降低到达地面的太阳辐射导致中国农作物的减产。Menon 等^[18] 利用模型模拟研究表明,黑碳引起大气加热的空间变化改变了亚洲夏季风环流,从而可能导致了我国南方降水及洪涝灾害的增加及北方的干旱。黑碳颗粒还会附着于建筑物表面,影响城市及建筑美观^[19]。较细小的碳粒子(直径 $< 1 \mu\text{m}$)能被吸入下呼吸道和肺泡,引发呼吸系统哮喘以及心血管、癌症等疾病的发生^[20, 21]。

国外在黑碳气溶胶观测和研究方面开始都比较早,对黑碳气溶胶的分布及浓度的监测也比较多,如亚洲地区的 ACE-Asia 计划、北美地区的 RACE(Radiative Aerosol Characterization Experiment),大洋地区的 ACE-I(Aerosol Characterization experiment),欧洲和非洲地区的 ACE-II(Aerosol Characterization Experiment),印度的 INDOEX(Indian Ocean Experiment)以及全球大气监测网(GAW)的观测项目等。国内的学者杨洁等^[22] 对中国西部的黑碳气溶胶进行了观测;张美根等^[23] 对东亚地区春季黑碳气溶胶的浓度进行了监测。这些研究主要针对黑碳气溶胶浓度的时间和空间分布及其动态变化,但在森林火灾释放黑碳气溶胶具体数量方面的研究鲜见报到。全世界每年发生森林火灾几十万起,受灾面积达几百万公顷^[24],在我国,1950~2000 年全国平均每年森林火灾面积 75.76hm^2 ,占森林总面积的 5.6% ^[25]。森林火灾的发生不仅使自然生态系统遭到破坏,同时释放大量的含碳温室气体,其中包括 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 和黑碳等。从 20 世纪 70 年代末 80 年代初开始,就有国外学者结合室内模拟和野外大气化学观测试验,对森林火灾释放的温室气体的量进行估测^[26~30]。国内学者也对我国森林火灾释放的温室气体进行了研究^[31~34]。但主要都是针对 CO_2 、 CO 、 CH_4 等方面的估算,且均未对森林火灾释放黑碳的量进行估测。

浙江省位于亚热带常绿阔叶林区域($27^{\circ}12' \sim 31^{\circ}31' \text{N}$, $118^{\circ}01' \sim 123^{\circ}10' \text{E}$),森林覆盖率达 59.4% ,全省以分割破碎的低山和丘陵为主,西南部略高,平均海拔 800m 。植被属于亚热带常绿阔叶林区域-东部(湿润)常绿阔叶林亚区域-中亚热带常绿阔叶林地带^[35],具有典型的亚热带气候和植被类型。浙江省不仅是我国森林大省,也是我国文明发祥地之一,开发历史悠久。同时,改革开放进程早,工业化程度高,干扰严重。因此,研究浙江省主要森林类型由于森林火灾而直接排放的黑碳,进一步量化森林火灾对黑碳气溶胶的贡献,对于正确评价我国亚热带地区森林生态系统具有重要意义,同时对于即将进入快速工业化的中西部地区也有借鉴意义,为减少全球变化研究中黑碳气溶胶测算的不确定性提供科学依据。

1 研究资料和方法

1.1 研究资料

1.2.1 森林火灾统计数据

火灾数据来源于浙江省林业厅林火监测中心统计资料,该数据库收集了 1991 年至今浙江省全部的森林火灾记录,包括起火点地理坐标、所属行政区域、过火面积、森林类型、起火原因及扑救信息等内容。本文使用

其中 1991 ~ 2006 年的林火记录,其间共发生森林火灾 9 182 次,年均约 570 次,森林总过火面积达 90 317 hm²。

1.2.2 森林生物量数据

浙江省不同类型的森林平均生物量来源于 2006 年浙江省生态公益林监测报告,该项目于 2005 ~ 2006 年在全省进行了“浙江省重点公益林森林植物生物量模型”研究。在全省 200 万 hm² 重点公益林范围内按气候区、林分类型、林龄组成、立地条件、林分组成等设置 854 个典型样地调查资料,通过对样地生物量实测,建立了林木易测因子生物量模型,利用模型和连清样地数据及典型样地数据,测算了浙江省重点公益林的生物量。

(1) 乔木层生物量调查 标准样地面积为 20 m × 30 m,主林冠层每木检尺。起测胸径 5.0 cm,调查因子为胸径、树高、枝下高、冠幅,并分树种统计各径级的平均值,分树种选取各径级的标准木(1 株),按 Stoo 分层切割法,以 2 m 区分段测定干(带皮)、枝叶(含花果)生物量;根系采取全株挖掘法测定。样地生物量根据各树种、径级标准木单株生物量统计。

(2) 下木层生物量调查 沿标准样方的对角设 2 m × 2 m 样方 3 个,调查下木层的盖度、株数和平均高度、各树种数量、地径、高度。选择主要树种平均木收获干、枝叶花果、根称重,根据树种组成比例,测定各树种及单位面积生物量。

(3) 草本层生物量调查 在下木层小样方的左上角和右下角设 1 m × 1 m 的小样方,调查草本层种类、盖度和平均高度。全株收获、称重,根据各草种比例测定单位面积生物量。

2.2 估算方法

首先由火灾面积估算出生态系统燃烧损失的生物量,然后计算出碳的损失量,再由黑碳的排放因子来估测出森林火灾所排放的黑碳量。Seiler 等^[36]提出了一个计算森林火灾消耗生物量(M, t)的估算公式:

$$M = A \times B \times a \times b \quad (1)$$

式中, A 燃烧的森林面积(hm²); B 平均生物量(t/hm²); a 地上部分生物量占总生物量的比例; b 生物量的燃烧效率。

地上部分生物量占总生物量的比例的数据,来源于方精云等^[37]对中国生物量的研究中结果。

森林燃烧效率是在火灾中燃烧的生物量占总的地表生物量的比重^[30],是估计黑碳释放量的关键参数。不同的森林类型、群落结构以及发生火灾时的不同气象条件和季节都会造成森林燃烧效率的差异,因而不同的研究者对该参数的确定也有较大争议。Kasischke 等^[38]的研究认为热带森林的燃烧效率为 0.2 ~ 0.25;Hao 等^[39]人的研究认为次生林的燃烧效率为 0.4 ~ 0.5。目前在这方面的资料和数据还较少,根据目前国外的研究结果和浙江省现状,浙江省属于典型的亚热带气候,并且森林类型多为次生林,因此采取 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南中^[40]所公布的缺省燃烧效率 0.45。

根据普遍采用的树木组织含碳量数值(C_c)45%^[41],假设所有被烧掉的生物质中的碳都变成了气体,碳的总损失量(Mc):

$$Mc = C_c \times M \quad (2)$$

结合公式(2)就可以计算出森林火灾中碳的总释放量。

为了计算黑碳在森林火灾中的排放量,引入排放因子(EF)概念。排放因子是森林火灾中释放的某种含碳气体的量(mc)和森林火灾中损失的总碳量的比值^[34]:

$$EF = mc/Mc \quad (3)$$

因此,得出森林火灾中黑碳排放量(Mbc)的计算公式为:

$$Mbc = EF \times Mc \quad (4)$$

黑碳的排放因子是指森林燃烧释放的黑碳在释放的总碳量中的比重。对于黑碳排放因子的大小,不同的学者也有不同的看法。Andreae 等^[42]对生物质燃烧产生的气体和气溶胶进行研究后发现黑碳在全部碳排放量中的比例大约为 0.56 g/kg;而 Reddy 等^[43]对印度排放黑碳气溶胶排放量的研究显示,黑碳气溶胶的排放

因子为 0.98 g/kg;Streets 等^[44]在研究中国黑碳气溶胶的排放时,生物质燃烧所释放的黑碳排放因子为 1.0 g/kg;据 Kuhlbusch 等^[45]的试验测定,燃烧排放的烟气中的黑碳为 1.1 g/kg。因此本文中,黑碳排放因子采取上述文献的平均值 1 g/kg。

2 结果与分析

2.1 森林火灾燃烧生物量

将 1991 ~ 2006 年的浙江省林火历史数据分为 3 个阶段 1991 ~ 1995;1996 ~ 2000;2001 ~ 2006。利用地理信息软件 Arcgis 把浙江省森林火灾历史点位转换为空间数据,然后用 Kernel density 的方法把点数据转换为平滑的面数据,得到浙江省森林火灾分布图(图 1)。

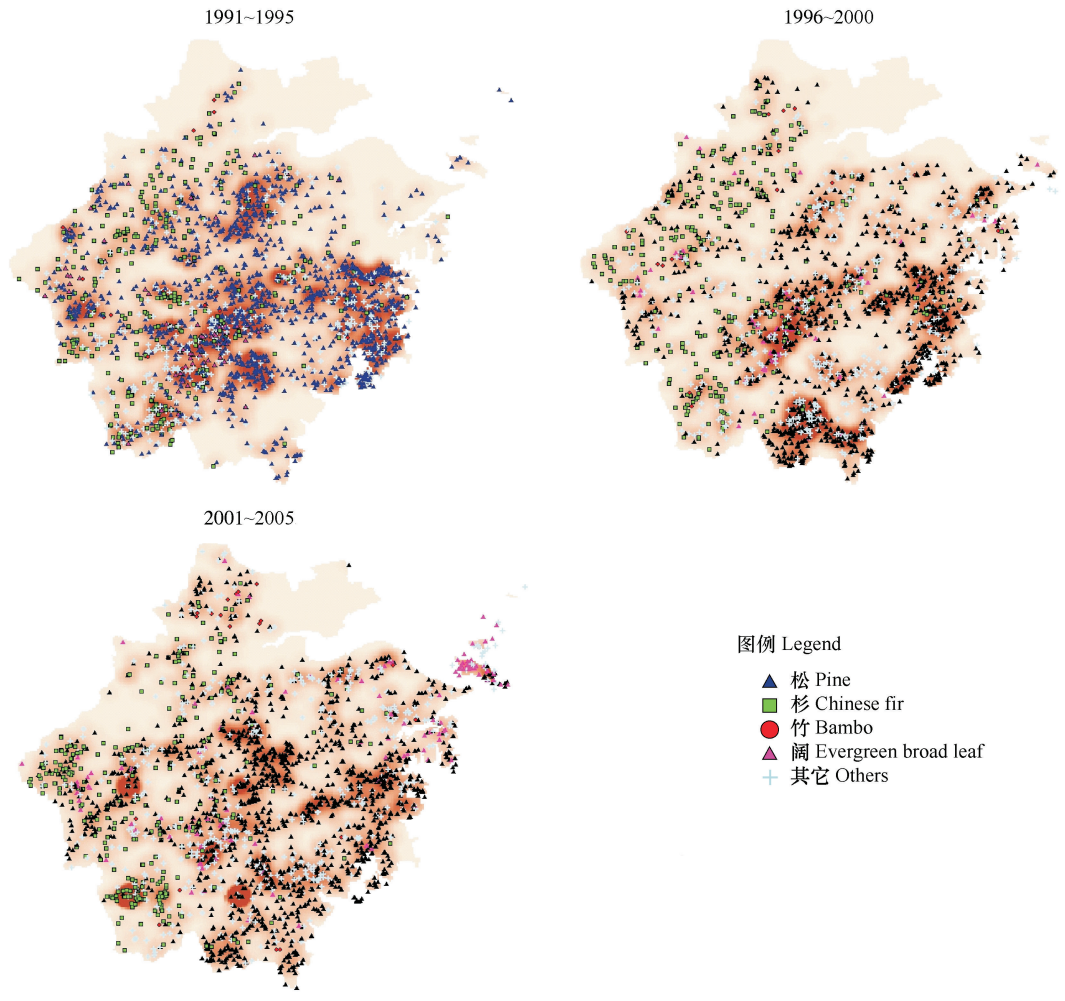


图 1 1991 ~ 2006 年浙江省森林火灾分布图

Fig. 1 The distribution map of forest fires in Zhejiang Province , 1991 ~ 2006

对 1991 ~ 2006 年浙江省森林火灾记录按时间、主要林型、过火面积进行统计,得出表 1。竹林的平均过火面积仅占总过火面积的 0.25%,为方便计算,将竹林并入阔叶林进行计算。从表中可以看出,1991 ~ 2006 年浙江省平均每年森林过火面积达 5 645 hm²,其中松林的年均过火面积达 3 697 hm²,是浙江省森林发生火灾的最主要林型。这和松林在浙江的广泛分布有关,且以马尾松居多,占浙江省所有森林面积的 27.1%^[46],而生态公益林中的松林比例更是高达 55.2%^[47]。此外,马尾松相对于其他的森林类型,属于易燃林型^[48],都是导致森林过火面积中松林面积比重较大的原因。

表 1 1991~2006 年期间浙江省各类森林类型过火面积 (hm²)

Table 1 Burned area of different forest types in Zhejiang Province, 1991~2006

年份 Year	松林 Pine forest	杉木林 Chinese fir forest	阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	混交林 Mixed forest	总计 Total
1991	426.9	159.5	33.3	184.1	803.7
1992	2284.8	460.8	78.3	875.4	3699.3
1993	2612.4	377.1	107.4	808.2	3905.1
1994	1324.2	223.5	29.0	453.5	2030.1
1995	2935.9	615.3	65.2	666.5	4283.0
1996	3156.1	688.7	102.0	1520.3	5467.1
1997	863.4	235.6	33.3	408.9	1541.2
1998	1374.8	222.5	38.1	517.9	2153.3
1999	2640.1	258.1	88.8	883.0	3869.9
2000	5851.5	1659.8	182.3	2745.5	10439.2
2001	1328.4	296.2	21.6	616.9	2263.1
2002	2358.7	245.2	164.0	1540.0	4307.9
2003	8261.7	1861.3	832.8	260.6	11216.4
2004	14558.8	3709.0	333.9	728.4	19330.1
2005	7158.2	1080.7	338.9	3094.0	11671.6
2006	2019.9	326.3	194.9	795.4	3336.6
平均 Average	3697.2	776.2	165.2	1006.2	5644.8

根据公式(1),即可由火灾面积、平均生物量及燃烧效率计算出森林火灾消耗的生物量。表 2 列出了 1991~2006 年浙江省不同林型森林火灾消耗的生物量。浙江省年均森林火灾消耗生物量为 114 387.1 t,其中燃烧生物量最多的是 2004 年,共燃烧达 371 420.6 t,是年均量的 3 倍多。燃烧生物量最大的依然是松林,年均占总量的 61.9%,混交林、杉木林和阔叶林分别为 19.6%、13.7% 和 4.8%。

表 2 1991~2006 年期间浙江省各类森林类型森林火灾消耗的生物量 (t)

Table 2 Consumed biomass of different forest types by forest fires in Zhejiang Province, 1991~2006

年份 Year	松林 Pineforest	杉木林 Chinese fir forest	阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	混交林 Mixed forest	总计 Total
1991	7917.1	3109.1	1067.9	4642.0	16736.1
1992	42376.1	8982.1	2514.7	22079.5	75952.4
1993	48453.4	7351.0	3448.4	20384.3	79637.2
1994	24560.8	4356.1	929.9	11437.5	41284.2
1995	54452.9	11994.9	2093.5	16811.0	85352.2
1996	58537.6	13424.5	3276.0	38343.4	113581.5
1997	16012.9	4593.4	1070.2	10312.1	31988.6
1998	25498.3	4336.8	1223.3	13062.8	44121.3
1999	48965.7	5030.4	2851.2	22269.7	79117.0
2000	108529.7	32356.5	5854.0	69246.7	215986.9
2001	24637.9	5773.5	694.5	15558.2	46664.2
2002	43747.3	4780.7	5264.8	38841.3	92634.1
2003	153231.0	36284.6	26740.5	6572.2	222828.4
2004	270024.8	72303.6	10721.0	18371.2	371420.6
2005	132764.2	21066.2	10879.9	78034.4	242744.7
2006	37463.5	6361.3	6258.6	20061.8	70145.1
平均 Average	68573.3	15131.5	5305.5	25376.7	114387.1

2.2 森林火灾释放的黑碳

结合森林火灾释放的总碳和黑碳的排放因子,根据公式(4),就可计算出森林火灾中黑碳的排放量,如表 3 所示。

由计算结果可以看出,浙江省 1991~2006 年平均每年由于森林火灾向大气中排放黑碳约 51.5 t,并且排放量波动的幅度非常大,排放最多的年份在 2004 年,达 167.1 t,最少只有 7 t 左右。在森林火灾释放的黑碳

中,松林的贡献超过了 60%。这主要是松林过火面积的比重太大造成的,如果能减少松林起火的次数和面积,将能极大的减少由森林火灾向大气中排放的黑碳量。

表 3 1991 ~ 2006 年期间浙江省各类森林类型森林火灾释放的黑碳 (t)

Table 3 BC emission from different forest types by forest fires in Zhejiang Province, 1991 ~ 2006

年份 Year	松林 Pineforest	杉木林 Chinese fir foret	阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	混交林 Mixed forest	总计 Total
1991	3.6	1.4	0.5	2.1	7.5
1992	19.1	4.0	1.1	9.9	34.2
1993	21.8	3.3	1.6	9.2	35.8
1994	11.1	2.0	0.4	5.1	18.6
1995	24.5	5.4	0.9	7.6	38.4
1996	26.3	6.0	1.5	17.3	51.1
1997	7.2	2.1	0.5	4.6	14.4
1998	11.5	2.0	0.6	5.9	19.9
1999	22.0	2.3	1.3	10.0	35.6
2000	48.8	14.6	2.6	31.2	97.2
2001	11.1	2.6	0.3	7.0	21.0
2002	19.7	2.2	2.4	17.5	41.7
2003	69.0	16.3	12.0	3.0	100.3
2004	121.5	32.5	4.8	8.3	167.1
2005	59.7	9.5	4.9	35.1	109.2
2006	16.9	2.9	2.8	9.0	31.6
平均 Average	30.9	6.8	2.4	11.4	51.5

3 结论与讨论

3.1 森林火灾释放黑碳的年际变化

从 1991 年到 2004 年,森林火灾导致的黑碳的释放量呈波动上升的趋势(图 2),并且这种波动的幅度越来越大,但森林火灾发生次数虽然有波动,但增加趋势并不明显(图 3)。如:2002 ~ 2006 年波动幅度甚至是 2006 全年总量的 5、6 倍之多,对这些年份的火灾次数的统计后,林火发生的次数只有 3 ~ 4 倍;1992 年的火灾次数位居第二,但该年排放的黑碳量却处于较低的水平。这表明从 1991 ~ 2006 年,火灾的平均每场火灾的过火面积有增加的趋势(图 4)。这可能是由于森林植被的恢复,可燃物载量增加,火灾的烈度更大,也可能和全球变化导致的温度升高有关。

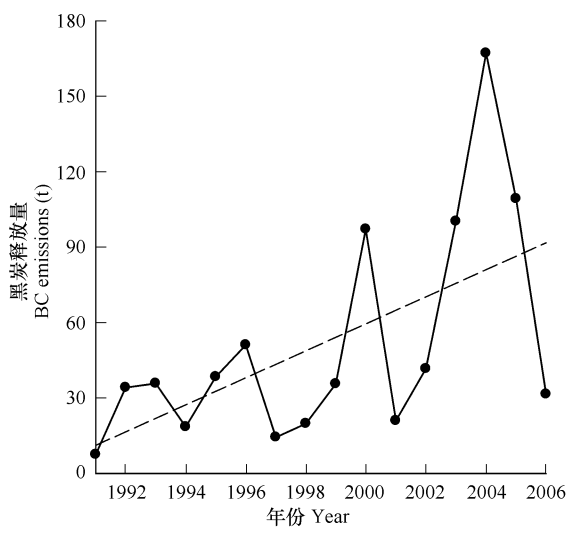


图 2 1991 ~ 2006 年浙江省森林火灾释放黑碳的动态变化
Fig. 2 Annual variation of BC emissions from forest fires in Zhejiang Province, 1991 ~ 2006

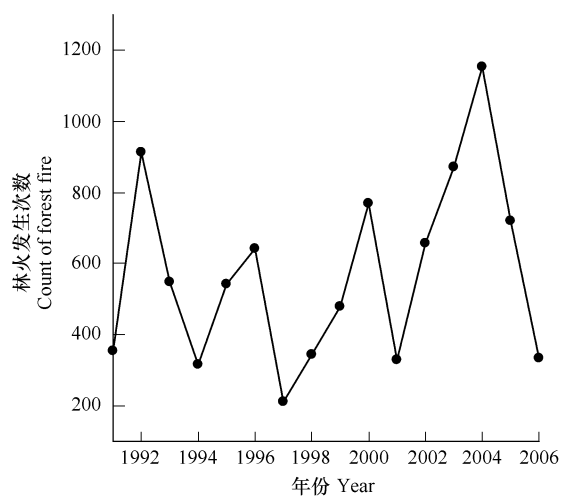


图 3 1991 ~ 2006 年浙江省森林火灾次数动态变化
Fig. 3 Annual variation of forest fires' count in Zhejiang Province, 1991 ~ 2006

3.2 森林火灾释放黑碳的月份平均变化

1991~2006年浙江省森林火灾黑碳释放量的月平均值的差异也比较大,主要集中在12月~4月份(图5)。该期间月平均降水较少,空气湿度比较高,为森林火灾的发生提供了条件。同时这一段时间,民间的节日较多,如春节、元宵和清明等,人们在过节时燃放烟花爆竹较多。另外有些地方在春耕时烧田坎、荒草,也是导致这一时期火灾较多的原因^[49]。

3.3 不同地区森林火灾释放黑碳量的差异

不同的地区由于森林火灾导致的黑碳的排放量的差异也比较大,如温州的年平均排放量是12.4 t,而湖州只有0.4 t,差距有30多倍(图6),这和各个地区的森林覆盖率密切相关。另外,温州、丽水和台州位于浙江省南部,温度较全省平均温度要高,容易发生森林火灾,这可能也是这3个区域黑碳排放量较高的原因。

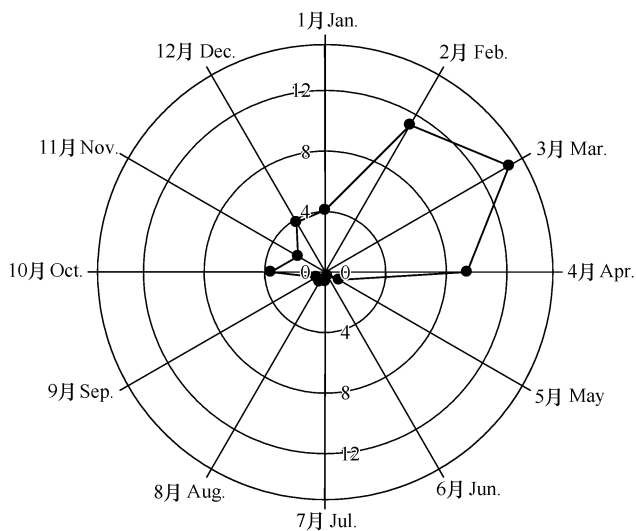


图5 1991~2006年浙江省森林火灾月平均释放黑碳量
Fig. 5 Month average variation of black carbon emission from forest fire in Zhejiang Province during 1991~2006

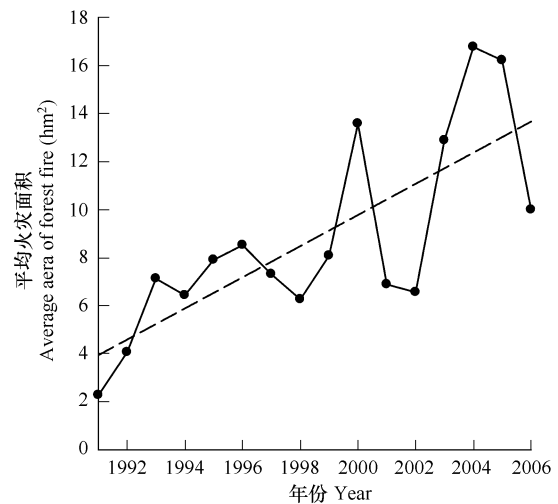


图4 1991~2006年浙江省单次森林火灾平均面积动态变化
Fig. 4 Variation of Average area of forest fires in Zhejiang Province, 1991~2006

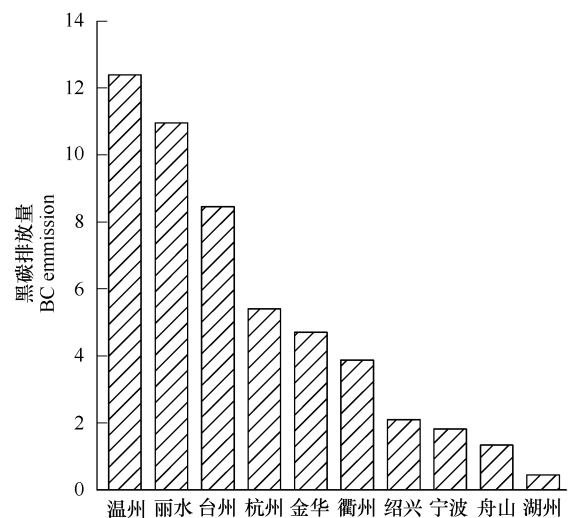


图6 1991~2006年浙江省各市森林火灾平均释放黑碳量
Fig. 6 Average of black carbon emission from forest fire in the city of Zhejiang Province during 1991~2006

3.4 森林火灾释放黑碳在总释放量中的比重

有很多的学者对中国的黑碳排放量进行了估算,并细化到了各省的工农业等总排放量^[45, 50]。Streets等^[45]的研究显示浙江省在1995年的黑碳总排放总量为32 800 t,曹国良等的结果为浙江2000年黑碳排放总量为57 100 t。计算出1995、2000年浙江省森林火灾释放的黑碳量分别是38.4 t、97.2 t,在总的释放量中的比例分别为0.12%、0.17%。与我国黑碳气溶胶的主要排放源——居民生活和工业源(分别占中国排放总量的54.5%、36.3%,曹国良等^[50])相比,森林火灾排放量占总量的比重较小。但是,随着国家对清洁能源的大力推广、对工业进行节能减排的改造及居民环保意识的增强,以及森林火灾更加频发的趋势下^[51],森林火灾排放的黑碳量在黑碳排放总量中的比重将变得更大。而且森林火灾发生的时间和区域比较集中,在短时间小范围的快速黑碳释放对区域环境会有较大的影响。

3.5 存在的问题

森林火灾释放黑碳的量会受到很多因素的影响,如森林的类型、森林生物量的燃烧效率和火灾当天的气象条件等。本文中的燃烧效率和排放因子都是从以往的研究中获取,在估算亚热带森林火灾直接碳排放量时,可能会有一定的误差。

3.6 未来森林火灾释放黑碳的讨论

降低森林火灾释放的黑碳只能通过减少森林火灾发生的次数、面积和烈度。火干扰管理已经成为了政府和保护森林资源中的有效手段,其中包括防火和计划火烧。通过防火,可以减少由于火灾造成的黑碳排放,同时延长森林火灾发生的周期。但在森林生态系统中,长期单纯的防火会产生大量的可燃物质,在遇到合适的气候及火源,就会发生大范围高强度的火灾,对生态环境造成更大的损失。因此,在现代林火管理中引入了计划火烧,计划火烧是为了达到特定的管理目标而人为引燃森林^[52]。通常它是在有控制的情况下、有计划点燃火险等级较高、生产力处于下降期的区域,从而减少发生大范围火灾的可能,降低火灾发生时的烈度。同时加强降低森林可燃性的改造,常绿阔叶林不仅在生态服务功能方面优于松林,同时其可燃性又比较低。通过对人工对林相的逐步改造,加快松林向亚热带的顶极群落常绿阔叶林的演替速度。

随着退耕还林和浙江省生态林保护的开展,浙江省森林面积不断扩大、森林中的生物量的积累也越来越多。一旦发生森林火灾,损失的生物量也就越多,对环境的危害也就越大。此外,全球变暖的事实已不容置疑^[53],而且许多全球气候模型预测未来气候会更暖,降雨减少,异常天气也会增加,森林火灾将更严重。而森林火灾的发生又会增加大气中温室气体的含量^[54],把森林由碳汇变为碳源^[55],使全球变化朝着更为严重的方向发展。因此,需要更加注意森林火灾的防治,减少碳的排放,为全球变化的工作做出贡献。

References:

- [1] Penner J E, Eddleman H, Novakov T. Towards the development of a global inventory for black carbon emissions. *Atmospheric environment. Part A, General topics*, 1993, 27(8): 1277 — 1295.
- [2] IPCC. Third assessment report, climate change 2001: The scientific basis. New York: Cambridge University Press, 2001.
- [3] Bai J H, Wang B C. The advance in black carbon aerosol. *Science Technology and Engineering*, 2005, 5(009): 585 — 591.
- [4] Qin S G, Tang J, Wen Y P. Black carbon and it s importance in climate change studies. *Meteorological Monthly*, 2001, 27(011): 3 — 7.
- [5] Xu L, Wang Y Q, Chen Z L, Luo Y, Ren W H. Progress of black carbon aerosol research i: Emission, removal and concentration. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(004): 352 — 360.
- [6] Kuhlbusch T A J. Enhanced: Black carbon and the carbon cycle. *Science*, 1998, 280(5371): 1903 — 1904.
- [7] Jacobson M Z. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols. *Nature*, 2001, 409(6821): 695 — 697.
- [8] Andreae M O. The dark side of aerosols. *Nature*, 2001, 409(6821): 671 — 672.
- [9] Hansen J E, Makiko S. Trends of measured climate forcing agents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001, 98(26): 14778 — 14783.
- [10] Schurath U, Naumann K H. Heterogeneous process involving atmospheric particulate matter. *Pure And Applied Chemistry*, 1998, 70: 1353 1361.
- [11] Martins J V, Artaxo P, Liousse C, Reid J S, Hobbs P V, Kaufman Y J. Effects of black carbon content, particle size, and mixing on light absorption by aerosols from biomass burning in brazil. *Journal of Geophysical Research*, 1998, 103(D24): 32041 — 32050.
- [12] Wolff G T. Particulate elemental carbon in the atmosphere. *Air Pollution Control Association*, 1981, 31: 935 — 938.
- [13] Jinhuan Q, Liquan Y. Variation characteristics of atmospheric aerosol optical depths and visibility in north china during 1980 1994. *Atmospheric Environment*, 2000, 34(4): 603 — 609.
- [14] Liousse C, Penner J E, Chuang C, Walton J J, Eddleman H, Cachier H. A global three-dimensional model study of carbonaceous aerosols. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101(19): 411 — 419.
- [15] Penner J E, Ghan S J, Walton J J. The role of biomass burning in the budget and cycle of carbonaceous soot aerosols and their climate impact. In: *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. Cambridge: MIT Press, 1991, 387 — 393.
- [16] Ackerman A S, Toon O B, Stevens D E, Heymsfield A J, Ramanathan V, Welton E J. Reduction of tropical cloudiness by soot. *Science*, 2000, 288(5468): 1042 — 1047.
- [17] Chameides W L, Yu H, Liu S C, Bergin M, Zhou X, Mearns L, Wang G, Kiang C S, Saylor R D, Luo C. Case study of the effects of

- atmospheric aerosols and regional haze on agriculture: An opportunity to enhance crop yields in China through emission controls. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1999, 96(24): 13626—13633.
- [18] Menon S, Hansen J, Nazarenko L, Luo Y. Climate effects of black carbon aerosols in China and India. *Science*, 2002, 297(5590): 2250.
- [19] Hamilton R S, Mansfield T A. Airborne particulate elemental carbon. Its sources, transport and contribution to dark smoke and soiling. *Atmospheric Environment*, 1991, 25(3): 715—723.
- [20] Cohen A J, Nikula K. The health effects of diesel exhaust: Laboratory and epidemiologic studies. *Air Pollution and Health*, 1998, 32: 707—745.
- [21] MacNee W, Donaldson K. Particulate air pollution: Injurious and protective mechanisms in the lungs. *Air Pollution and Health*, 1998, 30: 653—672.
- [22] Tang J, Wen Y P, Zhou L X. Observational study of black carbon in clean air area of western China. *Quarterly Journal Of Applied Meteorology*, 1999, 10(002): 160—170.
- [23] Zhang M G, Xu Y F, Zhang R J, Han Z W. Emission and concentration distribution of black carbon aerosol in East Asia during springtime. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, 48(001): 46—51.
- [24] Xu A J, Li Q Q, Fang L M, Wu D S. Study on model about forest fire forecast and prediction based on GIS. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2003, 20(003): 285—288.
- [25] Yao S R, Wen D Y. The management of forest fires. Beijing: Chinese Forestry Press, 2002.
- [26] Crutzen P J, Heidt L E, Krasnec J P, Pollock W H, Seiler W. Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃Cl and COs. *Nature*, 1979, 282(5736): 253—256.
- [27] Dixon R K, Krankina O N. Forest fires in Russia: Carbon dioxide emissions to the atmosphere. *Canadian Journal Of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 1993, 23(4): 700—705.
- [28] Goldammer J G, Crutzen P J. Fire in the environment: the ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires. John Wiley & Sons, 1993.
- [29] Levine J S, Cofer W R, Cahoon D R, Winstead E L. Biomass burning: a driver for global change. *Environmental Science and Technology*, 1995, 29(3): 120A—125A.
- [30] Wong C S. Carbon input to the atmosphere from forest fires. *Science*, 1979, 204(4389): 210—210.
- [31] Jiao Y, Hu H Q. Estimation of carbon emission from forest fires in Heilongjiang province during 1980—1990. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(006): 109—113.
- [32] Tian X R, Shu L F. Direct carbon emissions from Chinese forest fires, 1991—2000. *Fire Safety Science*, 2003, 12(001): 6—10.
- [33] Wang X K, Feng Z W, Zhuang Y H. CO₂, CO and CH₄ emissions from forest fires in China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 7(001): 90—95.
- [34] Wang X K, Zhuang Y H, Feng Z W. Estimation of carbon-containing gases released from forest fire. *Advances in Climate Change Research*, 1998, 6(004): 1—15.
- [35] Liu Q X, Chang J, Jiang B, Yuan W G, Qi L Z, Zhu J R, Ge Y, Shen Q. The biomass of the evergreen broad-leaved ecological public-welfare forests in Zhejiang, East China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2139—2144.
- [36] Seiler W, Crutzen P J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climatic Change*, 1980, 2(3): 207—247.
- [37] Fang J Y, Xu S L. Biomass and net production of forest vegetation in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(005): 497—508.
- [38] Kasiskhe E S, Brian J. Fire, climate change, and carbon cycling in the boreal forest. Springer, 2000.
- [39] Hao W M, Liu M H. Spatial and temporal distribution of tropical biomass burning. *Global Biogeochem. Cycles*, 1994, 8(4): 496—503.
- [40] Eggleston S, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, vol. 4: Agriculture, forestry, and other land use, 2006.
- [41] Levine J S, Cofer W R, Cahoon D R, Winstead E L. Biomass burning: A driver for global change. *Environmental Science and Technology*, 1995, 29(3): 120—125.
- [42] Andreae M O, Merlet P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochem. Cycles*, 2001, 15(4): 955—966.
- [43] Reddy M S, Venkataraman C. Inventory of aerosol and sulphur dioxide emissions from India: Part II—biomass combustion. *Atmospheric Environment*, 2002, 36(4): 677—697.
- [44] Streets D G, Gupta S, Waldhoff S T, Wang M Q, Bond T C, Yiyun B. Black carbon emissions in China. *Atmospheric Environment*, 2001, 35(25): 4281—4296.
- [45] Union A G. Biomass burning and global change. Williamsburg: Virginia, 1995.
- [46] Forestry department of Zhejiang province. The Natural Forest Resources of Zhejiang (the volume of forests). Beijing: Chinese Agriculture Science and Technology Press, 2002.

- [47] Zhang J, Ge Y, Chang J, Jiang B, Jiang H, Peng C, Zhu J, Yuan W, Qi L, Yu S. Carbon storage by ecological service forests in Zhejiang Province, subtropical China. *Forest Ecology and Management*, 2007, 245(1-3): 64—75.
- [48] Zheng H N. Flammability of trees. *Forest Fire Prevention*, 1991, 3: 32.
- [49] Mao S L, Yang Y P, Jia W J, Zhang M Z, Zhang W C. Study on regularity and trend of forest fire in zhejiang province. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2004, 24(001): 16—20.
- [50] Cao G L, Zhang X Y, Wang Y Q, Ce H Z, Chen Z. Inventory of black carbon emission from china. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(6): 259—264.
- [51] Conard S G, Sukhinin A I, Stocks B J, Cahoon D R, Davidenko E P, Ivanova G A. Determining effects of area burned and fire severity on carbon cycling and emissions in siberia. *Climatic Change*, 2002, 55(1): 197—211.
- [52] Carter M C, Darwin Foster C. Prescribed burning and productivity in southern pine forests: A review. *Forest Ecology and Management*, 2004, 191(1-3): 93—109.
- [53] Oreskes N. The scientific consensus on climate change. *Science*(Washington, D. C.), 2004, 306(5702): 1686—1686.
- [54] Adams J A S, Mantovani M S M, Lundell L L. Wood versus fossil fuel as a source of excess carbon dioxide in the atmosphere: A preliminary report. *Science*, 1977, 196(4285): 54—56.
- [55] Kurz W A, Apps M J. A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the canadian forest sector. *Ecological Applications*, 1999, 9(2): 526—547.

参考文献:

- [3] 白建辉, 王庚辰. 黑碳气溶胶研究新进展. *科学技术与工程*, 2005, 5(009): 585~591.
- [4] 秦世广, 汤洁, 温玉璞. 黑碳气溶胶及其在气候变化研究中的意义. *气象*, 2001, 27(011): 3~7.
- [5] 许黎, 王亚强, 陈振林, 罗勇, 认万辉. 黑碳气溶胶研究进展 I: 排放, 清除和浓度. *地球科学进展*, 2006, 21(004): 352~360.
- [22] 汤洁, 祁栋林. 中国西部大气清洁地区黑碳气溶胶的观测研究. *应用气象学报*, 1999, 10(002): 160~170.
- [23] 张美根, 徐永福, 张仁健, 韩志伟. 东亚地区春季黑碳气溶胶源排放及其浓度分布. *地球物理学报*, 2005, 48(001): 46~51.
- [26] 徐爱俊, 李清泉, 方陆明, 吴达胜. 基于 GIS 的森林火灾预报预测模型的研究与探讨. *浙江林学院学报*, 2003, 20(003): 285~288.
- [25] 姚树人, 文定元. 森林消防管理学. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [31] 焦燕, 胡海清. 黑龙江省 1980~1999 年森林火灾释放碳量的估算. *林业科学*, 2005, 41(006): 109~113.
- [32] 田晓瑞, 舒立福. 1991—2000 年中国森林火灾直接释放碳量估算. *火灾科学*, 2003, 12(001): 6~10.
- [33] 王效科, 冯宗炜. 中国森林火灾释放的 CO₂, CO 和 CH₄ 研究. *林业科学*, 2001, 7(001): 90~95.
- [34] 王效科, 庄亚辉. 森林火灾释放的含碳温室气体量的估计. *环境科学进展*, 1998, 6(004): 1~15.
- [35] 刘其霞, 常杰, 江波, 袁位高, 戚连忠, 朱锦茹, 葛滢, 沈琪. 浙江省常绿阔叶生态公益林生物量. *生态学报*, 2005, 25(9): 2139~2144.
- [37] 方精云, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量. *生态学报*, 1996, 16(005): 497~508.
- [47] 浙江省林业局. 浙江省林业自然资源(森林卷). 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.
- [48] 郑焕能. 树种易燃, 难燃, 抗火性与防火树. *森林防火*, 1991, 3: 32.
- [49] 茅史亮, 杨幼平, 贾伟江, 张鸣中, 张文楚. 浙江森林火灾发生规律与发展趋势研究. *浙江林业科技*, 2004, 24(001): 16~20.
- [50] 曹国良, 张小曳, 王亚强, 车惠正, 陈东. 中国大陆黑碳气溶胶排放清单. *气候变化研究进展*, 2006, 2(6): 259~264.