

热重-红外联用测定分析马尾松林地表可燃物的 CO₂ 释放量王红干^{1,2}, 张思玉^{1*} (1. 南京森林公安高等专科学校, 江苏南京 210046; 2. 福州外国语学校, 福建福州 350002)

摘要 采用热重-红外光谱分析联用技术分析森林可燃物气体排放的规律, 测定气体的红外吸收频谱, 对气体成分进行定性和定量分析。以朗伯特-比尔(Lambert-Beer)定律为理论基础, 通过定量分析可燃物气体的红外光谱, 精确地测定了森林可燃物热失重的过程与 CO₂ 气体排放量的相关性。以福州地区马尾松林下地表可燃物为研究对象, 估算了不同林型马尾松林下地表可燃物的 CO₂ 释放量。

关键词 马尾松; CO₂; 烟气排放; 定量分析

中图分类号 S718.5 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)31-15595-02

TG-FTIR Analysis on CO₂ Emission Released from the Surface Fuel under *Pinus massoniana* Woodland

WANG Hong-gan et al (Nanjing Forest Police College, Nanjing, Jiangsu 210046)

Abstract The gas emission laws of forest fuels were analyzed by using thermo gravimetric analyzer-Fourier transform infrared spectroscopy (TG-FTIR). The infrared absorption spectrum of the gas was determined and the gas components were analyzed qualitatively and quantitatively. Taking Lambert-Beer Law as the theoretical basis, the infrared spectrum was quantitatively analyzed and the correlation between the thermal weight loss period of forest fuels and CO₂ emission was accurately determined. Taking the surface fuels under *Pinus massoniana* woodland in Fuzhou as the research objects, CO₂ emission of the surface fuels under different types of *Pinus massoniana* woodland was estimated.

Key words *Pinus massoniana*; CO₂; Smoke emission; Quantitative analysis

马尾松是我国南方分布面积最大的用材林, 由于不同马尾松林型特性的差异, 可能导致森林燃烧状态以及热解燃烧释放气体的差异^[1-2]。笔者以福州郊区 4 种马尾松林的地表可燃物为研究对象, 通过野外可燃物载量调查, 室内控制燃烧试验, 测定了燃烧反应 CO₂ 气体的释放量, 通过对马尾松林下地表可燃物的气体排放规律研究, 以期对各种森林类型烟气的深入研究提供试验方法, 为预防林火烟气提供对策, 为更客观地评价森林燃烧在全球碳循环中的作用提供理论依据。

1 研究区概况

福建省是我国森林覆盖率最高的省份, 省会福州地处中国东南沿海, 福建省东部的闽江口, 118°08' ~ 120°31'E, 25°15' ~ 26°29'N, 属于中国东部亚热带季风气候区, 主要树种有马尾松、竹林、柳杉、榕树、杉木、樟木、木麻黄等, 其中马尾松、杉木覆盖面积最大, 且多为人工纯林。

2 研究方法

研究采用“热重-红外联用仪”分析气体排放的规律, 通过气体传输线将热分解产生的气体传输到傅立叶变化红外光谱仪上, 测定气体的红外吸收频率, 使用相关分析软件, 对气体成分进行定性和定量分析。

2.1 仪器与设备 TG209F3 热重分析仪; Nicolet380 型傅立叶变换红外光谱分析仪。

2.2 方法与步骤

2.2.1 样品采集与处理。 在设置的样方中, 称量 1.5 m 以下灌木草本和死地被物的鲜重, 分别取 150 g 样本装入纸袋, 并单独采集重要值大的物种, 样品装入纸袋, 记录样品号。在设置小样方中先清除灌木、草本植物的枝叶, 用花铲分层取样称重, 各取 150 g 装入纸袋记录样品号, 并测量腐殖质层厚度。将野外采集的样品放入纸袋中置于通风阴凉处自然风

干; 根据需要将样品用粉碎机粉碎成粉末, 过筛, 备用。

2.2.2 气体成分及其释放量的测定。 通过热重分析仪程序升温加热粉碎的样本, 热解和燃烧释放的气体通过气体输送线到达傅立叶变化红外光谱仪, 进行扫描分析, 即时测定气体的红外光谱吸收峰。

2.2.3 数据的采集与数据处理方法。

①通过 Proteus Analysis 分析软件对可燃物热失重过程的数据进行分析。

②使用 OMNIC 软件自动采集保存试验的红外光谱吸收值数据。

③通过 OMNIC 软件, 对光谱图和 Chemigram(官能团重构图)进行平滑处理和基线校正及有关谱图运算、导数谱图。

④通过 OMNIC 软件进行谱图分析, 对红外吸收光谱进行标峰、谱图检索、差谱、基础红外谱图解析等对样品进行各种定性定量的分析。

3 结果与分析

3.1 排放因子的概念 排放因子 EF 是估算森林火灾含碳气体以及其他有害气体释放量必须的参数, 也可以评价森林可燃物以及释放气体对全球气候变化和碳循环的作用^[3-4]。该研究利用红外光谱分析仪及其 OMNIC 软件的定量分析功能, 提出森林可燃物燃烧释放 CO₂ 量的一个简便的计算方法以及 CO₂ 排放因子的计算。排放因子计算公式:

$$EF_i = \frac{M_i}{m_{fuel}} \quad (1)$$

式中, M_i 为某种燃烧产物的重量(mg); m_{fuel} 为可燃物燃烧所有气体中碳所占的比重。

3.2 利用热-红联用仪进行可燃物 CO₂ 排放的定量分析 红外光谱定量分析的理论基础是朗伯特-比尔(Lambert-Beer)定律。

$$A = \epsilon bc \quad (2)$$

式中, A 为吸光度; ϵ 为摩尔吸光系数; b 为光路长; c 为物质的量浓度。

①CO₂ 排放量标准曲线的制作: 将称量好的不同重量的

基金项目 国家自然科学基金项目(30671696)。

作者简介 王红干(1964-), 男, 山东诸城人, 硕士, 中教一级, 从事森林防火和园林植物研究。

收稿日期 2009-09-07

纯净石墨粉末在热重分析仪中程序升温,充分燃烧,通过红外光谱仪的 OMNIC 软件,采集 CO₂ 的红外光谱吸收信号。在 CO₂ 的 chemigram 值和燃烧消耗的石墨重量之间建立函数关系,通过 MATLAB 应用软件进行线性拟合,建立一次回归方程,并作标准曲线^[5-6]。

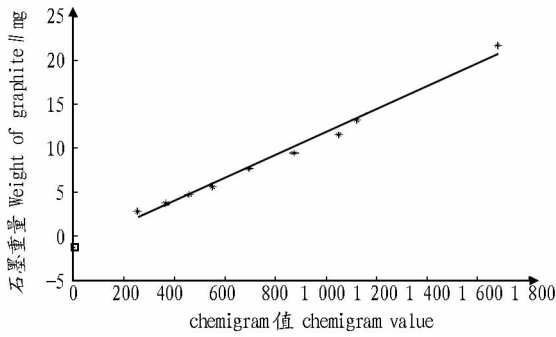


图1 不同重量的石墨燃烧释放 CO₂ 的 chemigram 值(2 400 ~ 2 250 cm⁻¹)
Fig.1 The chemigram value of CO₂ released from the combustion of different weight of graphite(2 400 - 2 250 cm⁻¹)

拟合一次回归方程为:

$$y = 0.0132x - 1.4235 \quad (3)$$

其中, y 为燃烧释放 CO₂ 中碳的重量, x 为可燃物燃烧释放 CO₂ chemigram 值的积分。通过比对标准曲线或者通过已经建立的回归方程计算,可得到可燃物释放的 CO₂ 气体中碳的量。

②森林可燃物燃烧释放 CO₂ 量的计算:将可燃物样品燃烧释放 CO₂ 在红外光谱仪上采集的 chemigram 值带入(3)式。可燃物燃烧所消耗的 C 的重量 M_c 为:

$$M_c = 0.0132N - 1.4235 \quad (4)$$

其中, M_c 为可燃物燃烧消耗的 C 的量; N 为 CO₂ 的 chemigram 值。

$$\text{CO}_2 \text{ 的释放量为: } M_{\text{CO}_2} = \frac{M_c}{F_{\text{CO}_2}} \quad (5)$$

$$F_{\text{CO}_2} = \frac{12}{44} = 0.273 \quad (6)$$

$$\text{可燃物的 CO}_2 \text{ 排放系数: } EK = \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_i} \quad (7)$$

③福州 4 种马尾松林型地表可燃物 CO₂ 气体释放总量的计算:

$$M_{\text{CO}_2} = \sum_i EK_i M_i \quad (8)$$

3.3 马尾松林下主要可燃物燃烧 CO₂ 释放量的研究 由表 1 可以看出,不同可燃物 CO₂ 排放量是有差异的。黄栀子、赤楠、野漆、桃金娘 4 种灌木的排放量最大,白茅、托竹 2 种禾本科植物以及马尾松的球果排放量最小。

表 1 马尾松林下常见地表可燃物燃烧的 CO₂ 的排放特性对比

Table 1 Comparison of CO₂ emission characters from the combustion of common surface fuels under *Pinus massoniana*

样品 Samples	CO ₂ chemigram 值 (2 400 ~ 2 250 cm ⁻¹) CO ₂ chemigram value	CO ₂ 中的碳的 重量//mg Carbon weight in CO ₂	CO ₂ 排放量 mg CO ₂ emission quantity	CO ₂ 排放因子 CO ₂ emission factor
芒萁	685.01	7.62	27.93	1.36
松针	686.82	7.64	28.02	1.37
桃金娘	704.32	7.87	28.87	1.40
野牡丹	641.88	7.05	25.85	1.25
赤楠	726.20	8.16	29.93	1.45
野漆	711.20	7.96	29.20	1.42
黄栀子	704.87	7.88	28.90	1.40
白茅	523.39	5.49	20.11	0.98
托竹	516.98	5.40	19.80	0.96
腐殖质	153.87	0.61	2.23	0.11
木荷落叶	694.47	7.74	28.39	1.38
松枝	641.66	7.05	25.84	1.25
松皮	667.04	7.38	27.07	1.31
球果	540.04	5.71	20.92	1.02

注:试样重量为(20.6 ± 0.2) mg。

Note: The weight of the test samples is (20.6 ± 0.2) mg.

3.4 4 个样地的地表可燃物 CO₂ 排放总量的估算 从表 2 可看出,CO₂ 排放估算量最多的是鼓山喝水岩的马尾松-米楮混交林,对该样地 CO₂ 排放贡献率最高的是林下的凋落物。由于喝水岩样地具有南亚热带季雨林的特点,林内郁闭度高,人为干扰少,因此凋落物积累多;鬼洞山火烧迹地,植被稀疏,灌木所占比重大,凋落物积累很少。

表 2 4 个样地地表可燃物 CO₂ 排放量比较

Table 2 Comparison of CO₂ emission quantity from the combustion of surface fuels in 4 sample plots

样地号 No. of sample plots	地理位置 Geographical position	类型 Types	样地面积//m ² Area of sample plots	地表可燃物载量//g Surface fuel loading			CO ₂ 排放估算总量//g Total estimated amount of CO ₂ emission
				灌木 Shrub	草本 Herb	凋落物 Litters	
I	鬼洞山	纯林	1 200	178 910	557 480	1 431 270	2 858 200
II	鬼洞山	火烧迹地	1 200	7 200	499 200	276 000	1 059 070
III	喝水岩	混交林	1 200	117 600	43 200	3 489 600	4 691 660
IV	白云洞	纯林	1 200	702 000	184 800	1 034 400	4 358 900

4 结论

(1)在自然环境中森林燃烧排放的气体成分、浓度变化过程以及排放量,受到可燃物理化性质、气候因子、环境因子诸多因素的影响。人们很难全面考察研究烟气释放的规律。该文在 OMNIC 软件的基础上开发了可燃物气体释放的定量分析方法,并运用该方法成功地计算了马尾松林下 14 种可燃物的 CO₂ 排放因子,估算了福州地区马尾松林下地表可燃物的 CO₂ 排放量。

(2)不同的马尾松林类型地表可燃物的种类和数量是有显著性差异的。用热重-红外联用的分析方法,在实验室中严格的环境控制下热解燃烧释放烟气,这种方法对于比较具有代表性的森林可燃物和森林类型的 CO₂ 以及其他森林可燃物排放的气体过程和数量是有其价值的,对于了解森林燃烧对于温室气体的排放的机理是有重要意义的。

(下转第 15629 页)

统的刀耕火种已经逐渐变形^[2,11],刀耕火种存在的条件已经消失,在当今极其有限的森林资源条件下,刀耕火种必然对生态环境造成严重的破坏,刀耕火种的消失已成为历史的必然。刀耕火种农业的消失和直直村没有刀耕火种的时段里发生的森林大面积被毁,说明了人类的任何一种物质生产方式(包括今天的现代化工业大生产等)都有其时空尺度的局限性,都必须以一定的环境条件和资源条件为基础,以区域内生态系统的健康、持续性发展为前提。

参考文献

- [1] DOBBY E H G. Southeast Asia[M]. London: University of London Press, 1950.
- [2] RASUL G, THAPA G B. Shifting cultivation in the mountains of south and southeast Asia: regional patterns and factors influencing the change[J]. Land Degradation and Development, 2003, 14(5): 495-508.
- [3] 尹绍享. 人与森林——生态人类学视野中的刀耕火种[M]. 昆明: 云南教育出版社, 2000.
- [4] BRADY N C. Alternatives to slash-and-burn: a global imperative[J]. Agriculture, Ecosystem and Environment, 1996, 58(1): 3-11.
- [5] MAHAPATRA L K. India[M]//ATAK T, BENNAGEN P L. Swidden Cultivation in Asia, Vol. 1, Country Profiles: India, Indonesia, Malaysia, Philippines, Thailand. Bangkok: UNESCO Regional Office for Education in Asia and the Pacific, 1983: 13-82.
- [6] RUTHENBERG H. Farming systems in the Tropics[M]. 2nd ed. Oxford: Clarendon Press, 1976.
- [7] SANCHEZ P A. Alternative to slash-and-burn agriculture[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment (Special Issue), 1996, 58: 1-2.
- [8] SPENCER J E. Shifting Cultivation in Southeastern Asia[M]. Berkeley, CA: University of California Press, 1966.
- [9] AGUILAR-FERNANDEZ M, JARAMILLO V J, VARELA-FREGOSO L, et al. Short-term consequences of slash-and-burn practices on the arbuscular mycorrhizal fungi of a tropical dry forest[J]. Mycorrhiza, 2009, 19(3): 179-186.
- [10] EMADI M, BAGHERNEJAD M, EMADI M. Effect of shifting cultivation on distribution of nutrient elements and carbohydrates within water-stable aggregates in northern Iran[J]. Pak J Biol Sci, 2008, 11(2): 195-201.
- [11] HANSEN T S, MERTZ O. Extinction or adaptation? Three decades of change in shifting cultivation in Sarawak, Malaysia[J]. Land Degradation and Development, 2006, 17(2): 135-148.
- [12] HOLSCHER D, LUDWIG B, MOLLER R F, et al. Dynamics of soil chemical parameters in shifting agriculture in Eastern Amazon[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1997, 66(2): 153-163.
- [13] JUO A S R, MANU A. Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1996, 58(1): 49-60.
- [14] LESTRELIN G, GIORDANO M. Upland development policy, livelihood change and land degradation: interactions from a Laotian village[J]. Land Degradation and Development, 2007, 18(1): 55-76.
- [15] PALM C A, SWIFT M J, WOOMER P L. Soil biological dynamics in slash-and-burn agriculture[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1996, 58(1): 61-74.
- [16] PASCUAL U, BARBIER E B. Deprived land-use intensification in shift cultivation: the population pressure hypothesis revisited[J]. Agricultural

- Economics, 2006, 34(2): 155-165.
- [17] SEKHAR N U. Traditional versus improved agroforestry system in Vietnam: a comparison[J]. Land Degradation and Development, 2007, 18(1): 89-97.
- [18] ALEGRE J C, CASSEL D K. Dynamics of soil physical properties und er alternative systems to slash-and-burn[J]. Agriculture, Ecosystem and Environment, 1996, 58(1): 39-48.
- [19] FAO. Tropical forestry action plan[M]. Rome: UN Food and Agricultural Organization, 1985.
- [20] GAFUR A, JENSEN J R, BORGGAARD O K, et al. Run-off and losses of soil nutrients from small watershed and shifting cultivation (Jhum) in the Chittagong Hill Tracts of Bangladesh[J]. Journal of Hydrology, 2003, 274(1): 30-46.
- [21] OCHOA-GAONA S. Traditional land-use systems and patterns of forest fragmentation in the highlands of Chiapas, Mexico[J]. Environ Manage, 2001, 27(4): 571-586.
- [22] SEDDON N, TOBIAS J, YOUNT J W, et al. Conservation issue and priorities in the Mikea Forest of south-west Madagascar[J]. Oryx, 2000, 34(4): 287-304.
- [23] DAS G N. Swidden Cultivation and development programmes in North-East India[M]. New Delhi: Akasha Publishing House, 2001.
- [24] DASH S S, MISRA M K. Studies on hill agro-ecosystems of three tribal villages on the Eastern Ghats of Orissa, India[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 86(3): 287-302.
- [25] WARNER K. Shifting cultivators: local technical knowledge and natural resource management in the humid tropics[M]. Community Forestry Note 8. Rome: Food and Agricultural Organization, 1991.
- [26] WATTERS R F. Shifting cultivation in Latin America[M]. Rome: Food and Agricultural Organization, 1971.
- [27] RAMBO T. Slash-and-burn farmers: villains or victims? [J]. Earthwatch, 1990, 39: 10-12.
- [28] 云南省永仁县志编纂委员会. 永仁县志[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1995: 38-39.
- [29] 永仁县地方志办公室. 永仁年鉴[M]. 楚雄: 楚雄日报社印刷厂印装, 2002: 47.
- [30] 傅伯杰, 陈利顶, 马克民, 等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 202-203.
- [31] 云南植被编写组. 云南植被[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 85-96.
- [32] 王宝荣, 杨树华, 王崇云, 等. 遥感判读植被类型的研究[J]. 生态学杂志, 2001, 20(S1): 18-20.
- [33] 王万茂. 土地利用规划学[M]. 北京: 中国大地出版社, 2000: 544-549.
- [34] 吴兆录. 生境格局与土地利用——西双版纳勐养自然保护区景观生态研究[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 69-79.
- [35] GEERTZ C. Agricultural involution: the processes of ecological change in Indonesia[M]. Berkeley, CA: University of California Press, 1963.
- [36] BORGGAARD O K, GAFUR A, PETERSEN L. Sustainability appraisal of shifting cultivation in the Chittagong Hill Tracts of Bangladesh[J]. Ambio, 2003, 32(2): 118-123.
- [37] MAHDI, SHIVAKOTI G P, SCHMIDT-VOGT D. Livelihood change and livelihood sustainability in the uplands of Lembang subwatershed, West Sumatra, Indonesia, in a changing natural resource management context[J]. Environ Manage, 2009, 43(1): 84-99.
- [38] GRIGG D B. The agricultural systems of the world: an evolutionary approach[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1974.

(上接第 15596 页)

参考文献

- [1] 张思玉, 张运生, 黎义明. 芒萁马尾松林下可燃物分布及其燃烧性[J]. 森林防火, 2005, 87(4): 17-18.
- [2] 张思玉, 张志翔. 杉木马尾松木荷人工纯林与混交林火灾隐患的对比分析[J]. 森林防火, 2001(3): 27-30.
- [3] 王效科, 庄亚辉, 冯宗炜. 森林火灾释放的含碳温室气体量的估计[J].

- 环境科学进展, 1998(6): 1-14.
- [4] 胡海清, 张金辉, 邓光瑞. 大兴安岭主要可燃物燃烧含碳气体的释放量[J]. 东北林业大学学报, 2007(3): 37-38, 45.
- [5] 杨志军. 红外光谱定量比较分析法及其应用[J]. 矿产与地质, 2007(3): 256-257.
- [6] 回瑞华, 侯冬岩, 关崇新, 等. 红外光谱法测定奶粉中苯甲酸钠的含量[J]. 食品科学, 2003(8): 121-123.