

南极菲尔德斯半岛植被微区 CO₂ 浓度的监测

朱仁斌¹, 孙立广¹, 谢周清¹, 赵俊琳² (1. 中国科技大学极地环境研究室, 合肥 230026; 2. 北京师范大学环境科学研究所, 北京 100875)

摘要: 在南极苔藓植被的微环境区内, CO₂ 的浓度在 473.5 mg·m⁻³ 以上, 大大高于全球 CO₂ 的平均浓度 (356 mg·m⁻³), 可见苔藓等植被区可能是大气 CO₂ 的源之一. 这与特殊的南极条件下植被的生理生态特性有关. 在苔藓分布区, CO₂ 浓度日变化的主要影响因素是光照和温度. 菲尔德斯半岛变化无常的天气状况使得 CO₂ 浓度昼夜变化规律出现局部波动, 不同的天气状况也使 CO₂ 浓度发生变化. 研究表明: 光照条件是 CO₂ 浓度变化的主导影响因素, 从 CO₂ 浓度的季节变化中可以看出, CO₂ 浓度变化与大气温度呈负相关; 与降水量和空气相对湿度呈正相关. 本文首次给出了极地环境下植被微区的 CO₂ 浓度变化及其影响因素, 为极地温室气体的研究提供了新的材料.

关键词: 南极菲尔德斯半岛; 苔藓; 植被; CO₂

中图分类号: X831 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)04-05-0006

Measurement of CO₂ Concentration in the Areas with Vegetation Cover on the Fildes Peninsula, Antarctica

Zhu Renbin¹, Sun Liguang¹, Xie Zhouqing¹, Zhao Junlin² (1. Institute of Polar Environment, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China; 2. Institute of Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The average CO₂ concentration was above 473.5 mg·m⁻³ in the areas covered by moss or lichen, greatly higher than the global average CO₂ concentration, implying that these areas may be one of the atmospheric CO₂ sources. Abnormally high CO₂ concentration was relative with vegetal physiological and ecological characters. In the areas covered by moss, the daily variation of the CO₂ concentrations was affected by sunshine and temperature and it was also different under the conditions of the different weathers. Sunshine was the main factors influencing the CO₂ concentration. The seasonal variation of the CO₂ concentration was negatively correlated with atmospheric temperature and positively with rainfall and air relative humidity. This article first presents the variations of CO₂ concentration and its influential factors under the Antarctic environmental conditions, which also presents new information for the further study to the Antarctic greenhouse gases.

Key words: the Fildes peninsula; Antarctica; moss; vegetation; CO₂ concentration

由于人类活动的影响, 大气中 CO₂ 的浓度已从工业革命前 280 mg·m⁻³ 上升到 1992 年 356 mg·m⁻³ [1], 80 年代的年平均增长率为 0.4 % [1, 2]; 因 CO₂ 浓度的增加所导致的气候变化以及它对生态环境的影响已引起了世界的普遍关注. 目前, 关于典型的大气-陆地植物-土壤-大气陆地生态系统的碳循环研究已有大量报道, 对全球尺度的碳循环也有较多的研

究 [4~7].

在南极生态系统中, 植被成分简单, 以苔藓、地衣及藻类为主. 在其陆地生态系统中, 苔藓占有显著地位. 关于其分布区的微环境 CO₂

基金项目: 国家“九五”科技攻关项目 (98-927-01-04); 中国科技大学资源环境科学基地基金资助项目 (49525102)

作者简介: 朱仁斌 (1973 ~), 男, 博士生, 主要从事极地温室气体排放的研究.

收稿日期: 2000-09-26

浓度及其碳素循环还未见有报道. 笔者从 1999-01-21 ~ 1999-03-23 在南极菲尔德斯半岛苔藓植被区设立观测点, 对该区近地面 20cm 大气边界层内 N_2O 、 CH_4 、 CO_2 浓度进行了定期、定时观测^[3], 研究了苔藓植被区阴、晴、雨、雪等不同天气型下 CO_2 浓度的日变化以及温度、降水和空气相对湿度等气象因子对 CO_2 浓度季节变化的影响, 并从生理生态学的角度, 探讨了 CO_2 浓度异常的原因.

1 采样点环境背景

长城站位于西南极乔治王岛的菲尔德斯半岛, 植被土壤气体采样点设置在长城站区西北山头, 距站区约 500 m. 菲尔德斯半岛属亚南极海洋性气候, 本区受极地气旋影响明显, 盛行西风 and 西北风. 采样点位于站区西北侧, 受站区环境影响微弱. 1985 ~ 1995 年长城站区的年平均气温为 -2.5°C , 最高气温 11.7°C , 最低气温 -26.6°C , 每年风速超过 17 m/s 的天数为 133 天, 平均气压 $0.9893 \times 10^5\text{ Pa}$, 平均湿度 89% (以上数据由中国国家海洋局极地办提供). 本区年降雨量约 630 mm, 季节分配均匀, 以降雪为主. 12 月中旬地表积雪开始融化, 土壤亦随之解冻, 至 3 月下旬季节融深达极值, 多数土壤融深在 40 ~ 70 cm^[3].

采样点海拔高度为 41.6 m, 地势平坦, 西侧茂密地生长着假三棱藓 (*Bryum Pseudotriquetrum*), 东侧地衣类植物松萝属 (*Usnea* sp) 繁盛, 其下掩盖着真藓科马氏藓 (*Bryum muellthenbeckii*), 植被覆盖度 100%. 苔藓、地衣下的土壤层厚度约 10 ~ 15 cm, 土壤颗粒极细, 为有机粘土质. 土壤与底部玄武岩风化岩块之间无过渡关系. 因此, 可以排除原地风化壳. 土壤来源于冻融作用和植物根土的生物地球化学作用. 底部土壤的 ^{14}C 年龄为 $880 \pm 60\text{ yBP}$, 这表明采样点至少在大约 880 年前已经有植被存在. 苔藓下土壤的 pH 值 (水提) 为 6.03, 有机质含量为 15.48%, 全 N 为 0.701%^[3].

2 样品采集与 CO_2 测定

2.1 CO_2 的样品采集

根据南极的气候条件, 设计制造了密闭气体采集箱, 箱底面积 $49\text{ cm} \times 49\text{ cm}$, 高 20 cm, 箱顶安置水银温度计插入箱内, 采集箱底面开口, 分别扣押在苔藓植被之上. 为了保证气体样品采集的可靠性, 在苔藓区平行设置 A、B2 点同时采气, 用于比较它们之间采样分析结果的差别, 并取平均值以保证分析结果的可靠和准确.

密闭箱盖上市后, 立即用日本生产的国立农业环境所生产的真空瓶 (容积为 17.5 ml), 定时向瓶内转移气体, 并同步记录箱内温度. 一天采集 4 个时间点, 大约分别为 00:00, 06:00, 12:00, 18:00 (均为智利时间), 以分析 CO_2 浓度的日变化; 每隔 6 天作为一个采气周期, 以探讨 CO_2 浓度的季节变化. 长城站苔藓分布区 CO_2 浓度是近地表 20 cm 的浓度. 由于在南极不同的日期和时间点, 风速变化较大. 为了避免风速的影响, 采用了密闭箱采气. 在其它植被区选择风速很小时, 在 2 m 高度上迎风采样, 以便与全球平均 CO_2 浓度进行比较.

从 1999-01-21 ~ 03-23 共采集气体 35 瓶. 另保存 8 个真空瓶, 经检测从抽真空起到气体分析时为止, 真空瓶内的真空度保持为 $-1.0 \times 10^5\text{ Pa}$.

2.2 CO_2 测定

由南京环境科学研究所使用 CX-8810A 气相色谱测定. 采用了 FID 检测器和甲烷转化炉, 分析条件为: 活性炭色谱柱柱温为 130°C , 检测器温度 150°C , 炉温 380°C , 进样量 0.5 ml.

3 结果与讨论

3.1 不同天气条件下苔藓分布区 CO_2 浓度的日变化

在一般情况下, 植被区的夜间 CO_2 浓度高, 中午前后 CO_2 浓度低, 这与植物的光合作用和呼吸作用的强度有关. 其中, 主要的影响因子是光照和温度. 由于南极天气状况变化无常, 影响苔藓植物正常的生理代谢活动, 其分布区 CO_2 浓度的昼夜变化也有起伏. 图 1 是在南极 4 种不同的天气状况下观测的 CO_2 浓度日变化图. 由图 1 中可以看出, 苔藓植被分布区 CO_2

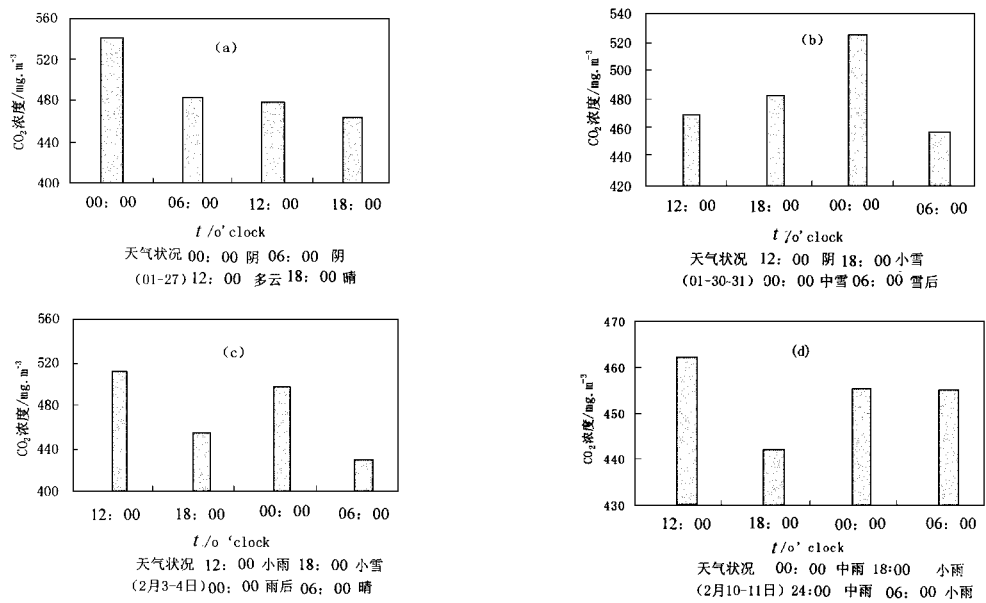


图 1 不同天气条件下苔藓分布区 CO₂ 浓度日变化

Fig.1 Daily variations of CO₂ concentrations in moss area under different weather conditions

浓度日变化范围在 428 ~ 537 mg·m⁻³ 范围内, 日变幅大. 一天之中, 其分布区 CO₂ 浓度的变化受天气条件的影响较大.

由图 1a 可知, 当天气由阴到多云转晴天的变化过程中, 苔藓分布区 CO₂ 浓度由 00:00 的 537 mg·m⁻³ 逐渐降低到 18:00 的 462 mg·m⁻³, 这是由于光照逐渐增强, 苔藓植物光合作用加强, CO₂ 同化吸收量增多所致. 可见, 光照条件是影响苔藓植被区 CO₂ 浓度日变化的主要因子. 图 1b 反映了雪天苔藓植被区 CO₂ 浓度日变化情况, 由图中可以看出, 在 00:00, 苔藓分布区 CO₂ 浓度同样很高, 表明苔藓植物在雪天仍有较强的呼吸作用; 在雪后的 06:00, 光照条件较好, CO₂ 浓度降到最低值; 12:00 天气为阴天, 苔藓植被区 CO₂ 浓度介于上述二者之间, 这是由于光照弱, CO₂ 光合同化量与呼吸作用吸收量共同决定的结果. 在雨天, 苔藓植被区 CO₂ 浓度变化出现了反常现象(图 1c 与 d), 表现在 12:00 CO₂ 浓度最高. 这与苔藓植物的生理生态习性有关, 过剩的水分含量会增加苔藓植物体对 CO₂ 吸收的阻力, 从而引起光合速度

的下降, 但苔藓植物的呼吸速度并不受过剩的水分含量的影响^[7]. 因而, 在雨天的中午, 苔藓植物分布区 CO₂ 浓度反而高. 另外, 由以上 4 个图可知, 在不同的天气条件下, 夜间 CO₂ 浓度均较高, 这是由于光合作用受到抑制的结果.

3.2 苔藓分布区 CO₂ 浓度的季节变化

图 2 反映了苔藓植被区 CO₂ 浓度的变化与气温的关系. 由图中可以看出, 苔藓植被区 CO₂ 浓度与即时气温呈负相关. 气温高时, CO₂ 浓度低; 反之, 气温低时, CO₂ 浓度高. CO₂ 浓度的这种变化趋势是与相应的天气条件的变化有

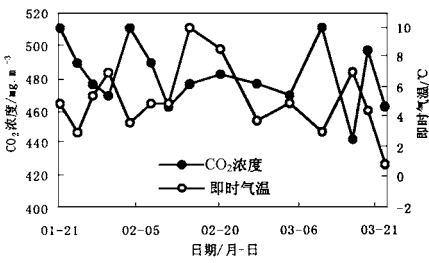


图 2 苔藓植被区 CO₂ 浓度与即时气温的关系

Fig.2 Relationships between CO₂ concentrations and the air temperature

关.当中午温度高时,往往是晴天和多云天气,光照条件相对较好,苔藓植物光合作用强,同化吸收 CO_2 量多;另外,高温下 CO_2 与周围大气扩散输送速度快,因而苔藓植被区 CO_2 浓度低;而当中午温度低时,往往是雨雪天气,光照条件相对较差,苔藓植物光合作用弱, CO_2 与周围大气扩散输送速度慢,因而 CO_2 浓度高.可见,温度是影响 CO_2 浓度季节变化的主要因子之一.由图 3、图 4 可以看出, CO_2 浓度的变化与降水和空气湿度有较好的响应关系.雨、雪较多的日子,空气湿度大,光照弱, CO_2 同化吸收量少,故 CO_2 浓度高.无降水或者雨、雪较少的日子,空气湿度小,光照条件好, CO_2 同化吸收量多,故 CO_2 浓度低.

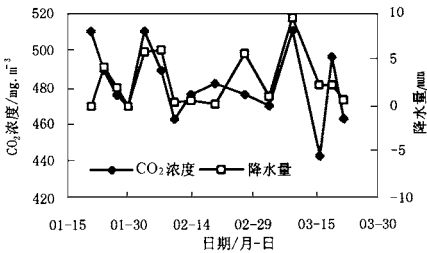


图 3 苔藓植被区 N_2O 浓度与降水量的关系

Fig. 3 Relationships between CO_2 concentrations and the precipitation

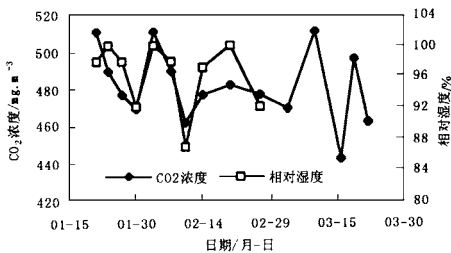


图 4 苔藓植被区 N_2O 浓度与平均相对湿度的关系

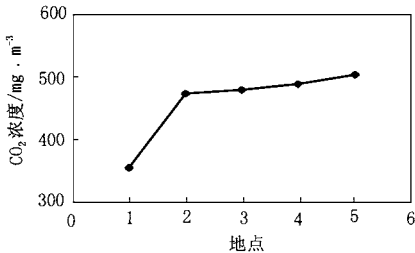
Fig. 4 Relationships between CO_2 concentrations and average relative humidity

3.3 不同植被区 CO_2 浓度的比较及其生态环境意义

尽管长城站苔藓分布区和其它植被区的气体收集方法存在差异,影响因素较多,但是,它

们都处于大气边界层内,因此对其进行比较分析可为进一步研究提供依据.由图 5 可以看出,苔藓植被区 CO_2 浓度最低,其次是小腺囊藻分布区的潮间带,霍拉修三级阶地,而半三角高地 CO_2 浓度最高.其中,霍拉修三级阶地主要为泥沼,有苔藓、地衣分布;半三角高地既有苔藓和又有地衣丛生.

潮间带大量的海藻呼吸产生的 CO_2 以及浅海带沉积物排放的 CO_2 可能是造成这一区域浓度较高的主要原因;霍拉修三级阶地和半三角高地苔藓、地衣类植物呼吸产生的 CO_2 以及泥沼的沉积物、土壤和多年积累的枯物排放的 CO_2 可能是导致这 2 个植被区浓度特高的原因.另外,上述 4 个植被区 CO_2 浓度均大大高于全球平均浓度($356 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$).可见苔藓、地衣、小腺囊藻植被区可能是南极大气 CO_2 的源,与人们普遍认为热带、温带森林植被区是大气 CO_2 的汇的结论不相一致.这或许是由于南极苔藓、地衣、藻类等植被的生理、生态习性与热带、温带植被不同所致.关于这些植被区 CO_2 排放状况有待进一步研究.



1. 全球平均 2. 苔藓分布区 3. 小腺囊藻区
4. 霍拉修三级阶地 5. 半三角高地

图 5 不同地点植被区 CO_2 浓度的比较

Fig. 5 The comparisons between CO_2 concentrations in different plant cover areas

3.4 苔藓植被区 CO_2 浓度异常的原因

通过以上的分析,可知长城站苔藓植被区等微环境中 CO_2 浓度在 $473.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 以上,大大高于全球平均浓度($356 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$).可见,苔藓植被区可能是大气 CO_2 的源.这一方面与苔藓植物的生理生态特性有关.据 Proctor^[9]等人

研究发现苔藓植物的光合组织与其它维管植物有明显的不同,许多小型的苔藓植物叶片大部分埋在生长基质(如土壤)和植物丛中,因此它们在功能上相当于维管植物叶片中的叶肉组织,而不是整个叶片。通常它们处于由呼吸作用产生的高 CO_2 浓度的微环境中,已形成了吸收 CO_2 的高阻抗;许多大型苔藓植物已发展出一种浓缩 CO_2 的机理,以消除这种高阻抗。苔藓植物 CO_2 补偿点普遍高于 C_3 植物,其释放 $^{14}\text{CO}_2$ 到无 CO_2 空气中的光/暗比值小于 C_3 植物^[8]。另外,扩散和生化条件的限制决定了苔藓植物对碳素的吸收速率,与维管束植物相比,光合活性低,生长较慢^[8]。

此外,由于南极的生存条件相当严峻,在那种生境下,苔藓植物生长极少,大多数植物都是当环境条件有利于生长时即生长,不利时则完全停止活动;大多数苔藓种类是多年生的,在很多情况下它们紧密地生长在一起,形成具有小丘外貌的坚实的垫子,许多垫子集合在一起形成群落;另有一些种类呈丝状、毯状、紧密簇状、交织状的集群,这些苔藓植物叶片集结在一起,群体的光合作用较弱,而呼吸作用较强。故苔藓植物群落分布区 CO_2 浓度异常增高。

另一方面,据测定苔藓植被区土壤的 ^{14}C 年龄为 $880 \pm 60\text{yBP}$,土壤层厚度约 $10 \sim 15\text{cm}$;新生的苔藓下是多年积累的凋落物。因此,土壤及凋落物的呼吸排放的 CO_2 可能是导致苔藓植被区 CO_2 浓度异常增高的另一个主要原因。

4 结论

(1) 苔藓植被区 CO_2 浓度日变化以及季节变化受光照、温度以及降水等气象因子的影响;不同的天气状况也使 CO_2 浓度发生变化。其

中,光照条件是 CO_2 浓度日变化的主导影响因素; CO_2 浓度的季节变化与大气温度呈反相关,而与降水和空气相对湿度呈正相关。

(2) 南极植被区 CO_2 浓度普遍高于全球平均浓度(356 ml/m^3),表明这些区域可能是南极大气 CO_2 的源。

(3) 南极植被区 CO_2 浓度异常的原因可能与这一区域植物的生理生态习性以及土壤和凋落物排放 CO_2 有关。

致谢 感谢国家海洋局极地办及 15 次南极科考队队友的大力支持和协助。

参考文献:

- 1 Watson R T, Meira Filho L G, Sanhueza E, Janetos A, Houghton J T et al. Greenhouse Gases and sinks. In Climate Change 1992. In The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, 1992, 25 ~ 46.
- 2 Barnola J M, Raynaud D, Korotkevitch Y S, Lorius C. Vostok ice core: A 160000-year record of atmospheric CO_2 . Nature, 1987, 329: 408 ~ 414.
- 3 孙立广, 谢周清, 赵俊琳等. 南极菲尔德斯半岛 N_2O 浓度的监测. 科学通报, 2000, 45(11): 1195 ~ 1199.
- 4 Kawaguchi H, Yoda K. Carbon cycling changes during degeneration of a deciduous broadleaf forest after clear-cutting I. Changes in organic matter and carbon storage. Jpn. J. Ecol., 1986, 35: 551 ~ 563.
- 5 Browns, Lugo A E. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. Science, 1984, 223: 1290 ~ 1293.
- 6 Bolin B. Changes of land biota and their importance for carbon cycle. Science, 1977, 196: 613 ~ 615.
- 7 Bolin B et al. The global biogeochemical carbon cycle. In: Bolin B et al. The global carbon cycle. New York: John Wiley & sons, 1987. 19.
- 8 周鹏程. 苔藓植物生物学. 北京: 科学出版社, 1998. 102 ~ 107.
- 9 Proctor M C F. The Experimental Biology of Bryophytes. London: Academic Press, 1985. 9.