

西安地区土壤 CO₂ 释放量和释放规律

赵景波^{1,2} 杜娟¹ 袁道先³ 岳应利¹ 张晓龙¹ (1. 陕西师范大学地理系, 西安 710062; 2. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710054; 3. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 桂林 541004)

摘要:根据碱溶液吸收法,对西安地区不同植被条件下土壤 CO₂ 释放量进行了昼夜观测.观测资料显示,西安地区各月份土壤 CO₂ 释放量在一昼夜内具有明显的变化,从当日上午到次日上午,CO₂ 释放量表现出由低变高再变低的规律.土壤 CO₂ 释放量变化与温度变化具有相同的特征,但释放量的变化具有滞后性,相对于温度的变化滞后 4~6h 左右.温度是决定土壤 CO₂ 释放量昼夜变化规律的主要因素,它的升高和降低分别造成了土壤 CO₂ 释放量的增加和减少.不同植被条件下,土壤 CO₂ 释放量不同,林地释放量大于草地,草地释放量大于裸地.夜间 12h 释放量大于白天 12h 释放量.

关键词:西安地区;土壤 CO₂;释放量;变化规律;影响因素

中图分类号:X511 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2002)01-04-0022

The Release Amount and Its Change Law of CO₂ from Soils in Xi' an Area

Zhao Jingbo^{1,2}, Du Juan¹, Yuan Daoxian³, Yue Yingli¹, Zhang Xiaolong¹ (1. Geographical Department of Shaanxi Normal University, Xi' an 710062; 2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi' an 710054; 3. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004)

Abstract:On the basis of the principle of which CO₂ is absorbed by the solution of NaOH, the release amount of CO₂ in soils under different vegetation was observed round the clock. The material shows that the release amount of CO₂ from soils in Xi' an area changed clearly in 24 hours in months. The release amount changed from low to high and then to low from the morning to the next morning. The change of the release amount of CO₂ was same that as the temperature, but the change of the former was about 4~6 hours later than that of the latter. The temperature was main factor determining change law of release amount of CO₂ from soils and its rising and falling bring out the increase and decrease of release amount of CO₂. The release amount of CO₂ from soils was changing along with different vegetation. The forestry land was greater than grassland and the grassland was greater than the bare land in the release amount. The release amount was greater in day than in night.

Key words:Xi' an area; CO₂ from soils; release amount; change laws; affecting factors

大气中 CO₂ 是具有温室效应的气体,它的源汇问题是全球变化与碳循环研究的焦点问题之一^[1,2].人们对岩溶作用过程中的 CO₂ 循环和土壤不同深度 CO₂ 浓度作过许多研究^[3,4],但对土壤 CO₂ 向大气中的释放量和释放规律的研究还少见长期观测的成果发表.查明土壤 CO₂ 释放特征对认识土壤 CO₂ 释放量和释放规律及全球变暖的原因、植被破坏对大气中 CO₂ 影响等有重要科学意义.本文通过一年多对西安地区不同植被土壤 CO₂ 释放量的连续昼夜观测,探讨不同植被土壤 CO₂ 释放量和释放规律.

1 研究地点和方法

西安地区一般为均质的马兰黄土覆盖^[5],地形平坦,是研究土壤 CO₂ 释放量和释放规律的理想地区.选择能代表该区地表特征的次生草地、林地、裸地作为观测样地.观测点土层为粉砂质,疏松多孔,颗粒均一,矿物成分以石英为主,次为长石.该区已无天然植被,观测草地由次生杂草组成.林地有梧桐、槐树构成.为获得较可靠的认

基金项目:国际地质对比计划项目(IGCP379);国土资源部岩溶动力学开放研究实验室项目(9901)和中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室项目(SKLLQG0007)

作者简介:赵景波(1953~),男,博士,教授,主要从事自然地理研究.

收稿日期:2000-12-03;修订日期:2001-04-27

识,对所选观测点进行了 36 次的昼夜观测。

采用的研究方法为碱溶液吸收法。原理是把 10 ml mol/L NaOH 溶液置于广口瓶内,将盛有碱液的广口瓶放在待测土层表面,其下加三角支架,用高 32 cm,直径 35 cm 不透光的圆桶罩住碱液烧杯,并将圆桶开口端埋入土层 2 cm 深处,边缘用细粒土掩埋、压实,勿使周围气体进入。当 CO₂ 从土壤中放出时,便被 NaOH 溶液吸收。经过一定时间的吸收后,将烧杯移出加入 2 g BaCl₂ 和 2 滴酚酞指示剂,在用 0.1 mol/L 的盐酸进行滴定,直到溶液由粉红色变为无色为止。根据滴定所用 HCl 的体积,就可算出与 NaOH 相结合的 CO₂ 释放量。在观测土壤 CO₂ 的同时,还要用相同方法测定同一地点大气中的 CO₂。此时要把圆桶放在玻璃板上,并用凡士林密封桶口。根据公式,可以计算土壤 CO₂ 释放量。计算公式为:CO₂(mg) = (B - V) N · E 式中, B 为滴定暴露于大气圆桶内瓶中 NaOH 溶液所需盐酸的体积(ml 数), V 为滴定暴露于

土壤空气圆桶中瓶内 NaOH 溶液所用盐酸体积(ml 数); N 为盐酸的摩尔浓度, E 为摩尔质量。当用 CO₂ 表达时, E 为 22。碱溶液吸收 CO₂ 及滴定过程中的具体化学反应为: 2 NaOH + CO₂ → Na₂CO₃ + H₂O, Na₂CO₃ + BaCl₂ = NaCl + BaCO₃ ↓, NaOH(剩余) + HCl → NaCl + H₂O, 这一方法是目前应用的效果较好的观测方法*。

由于土壤 CO₂ 在 1 h 内释放量较小,据观测季节不同,为减少 CO₂ 释放量少而引起的误差,不是每小时更换一次碱液烧杯,而是经 2 小时或 3 小时的 CO₂ 释放后才更换碱液烧杯。然后计算观测时段每小时平均释放量,并把这一释放量作为中间时间点的释放量。如 07:00 ~ 09:00 平均释放量视为 08:00 释放量,以次类推。

2 观测结果

在 1999-01 ~ 2000-05 期间对西安南郊长延堡及长安县双竹村附近的 CO₂ 释放量进行了每月 1 ~ 4 次的昼夜观测,现将有代表性的观测结果列入表 1。

表 1 西安地区 1999-07 ~ 2000-05 土壤 CO₂ 释放量/mg · m²

Table 1 Release amount of CO₂ from soils during July, 1999 ~ May, 2000 in Xi'an area

地点	土类	土层母质	昼夜释放总量	07:00 ~ 18:00 点释放量	19:00 ~ 06:00 点释放量	小时平均释放量	小时最高释放量	小时最低释放量	观测日期
西 安 长 延 堡	林地	马兰黄土	9652.5	3366.0	6286.6	402.2	668.6	183.5	1999-07-16
	草地	马兰黄土	9500.7	3207.2	6293.5	395.8	604.2	35.7	1999-07-16
	裸地	马兰黄土	6448.6	2046.0	4402.4	268.7	406.6	59.7	1999-07-16
	草地	马兰黄土	5674.4	1894.3	3780.7	236.4	358.4	92.2	1999-08-21
	裸地	马兰黄土	4744.2	2212.3	2531.9	197.7	288.9	127.1	1999-09-18
	裸地	马兰黄土	2459.2	843.6	1410.6	102.5	163.3	23.0	1999-10-06
	裸地	马兰黄土	3065.8	1163.2	1902.4	127.7	182.8	37.4	1999-10-16
	草地	马兰黄土	1658.4	809.6	848.8	69.1	106.6	26.3	1999-10-30
	草地	马兰黄土	1357.0	515.5	841.5	56.5	95.7	0.9	1999-11-13
	裸地	马兰黄土	450.8	142.1	308.7	18.8	45.8	1.1	1999-12-04
长 安 县	草地	冲积土	6575.6	1460.9	5109.7	273.9	484.5	49.9	1999-07-23
双竹村	裸地	冲积土	4864.2	1215.2	3649.5	202.6	392.9	134	1999-07-23
西 安 长 延 堡	林地	马兰黄土	4046.4	1306.8	2739.6	168.2	279.8	36.9	2000-04-25
	林地	马兰黄土	5143.6	1834.7	3308.9	213.9	336.8	76.4	2000-05-06

2.1 1999 年 7 月份观测结果

由 1999-07 观测(表 1, 图 1, 2)得知,西安长延堡 07-16 裸地 CO₂ 释放量变化在 59.7 ~ 406.6 mg/(m²·h) 之间;09:00 ~ 16:00 之间释放量较低,一般在 60 ~ 120 mg/(m²·h) 之间;16:00

~ 19:00 释放量由低变高,从 100 增加到 250 mg/(m²·h);19:00 ~ 08:00(次日)释放量较高,一般在 340 ~ 380 mg/(m²·h) 之间;08:00 之

* 赵景波.西安地区土壤 CO₂ 研究报告,1998.

后释放量明显下降,多小于 $100 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。草地 09:00 ~ 15:00 CO_2 释放量较低,一般为 $30 \sim 120 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 15:00 ~ 19:00 释放量明显增加,从 $170 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 增加到 $440 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 19:00 ~ 06:00(次日) CO_2 释放量较高,在 $500 \sim 600 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 之间,19:00 之后释放量减少,通常小于 $400 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。如将草地 CO_2 释放量与裸地相比,草地 CO_2 释放量比裸地明显高,前者每小时平均释放量比后者多 $70 \sim 128 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (表 1)。林地 CO_2 释放量和变化特征与草地基本相同,只是高释放量时段开始出现的时间较迟(图 1, 2)。长安县双竹村观测结果(图 2, 表 1)与长延堡也很相似,但前者 CO_2 释放量比后者低。在观测 CO_2 释放量的同时,对气温也进行了每小时一次的观测,温度昼夜变化与土壤 CO_2 释放量变化具有相同特征(图 1, 2),但释放

量的变化具有滞后性。观测结果还显示,不论是裸地、草地还是林地, CO_2 在不同强度的释放量时段都存在着波动(图 1, 2)。

2.2 1999-08 ~ 10 和 2000-04 ~ 05 观测结果

由于 1999-08 ~ 1999-10 观测结果(图 3, 表 1)可知,这 3 个月土壤 CO_2 释放量昼夜变化规律与 7 月份基本相同,只是其含量有明显差异。从表 1 可知,从 7 月到 10 月初,土壤 CO_2 释放量变化趋势是逐渐减小,这符合温度逐渐降低的过程。然而在 10-16 裸地 CO_2 释放量变得比 10-06 高(表 1),值得查明引起这一结果的原因。据本观测记录,10-01 ~ 10-04 日西安地区连续降中雨 4 昼夜,是该区一年来降水最多、最长的降雨过程。在这次降雨开始之后的第 5 天(10-06)的观测表明,这时土壤 CO_2 释放量仍较低(表 1),而在降雨之后的第 12 天, CO_2 释放量却明显增加。由此可见,10-16 土壤 CO_2 释放量增大是较长时间的降雨过程造成的,土壤 CO_2 释放量相对于降水量的变化滞后时间至少在 5 天以上。2000-04 ~ 2000-05 CO_2 释放量变化规律(图 4)与 1999-07 ~ 1999-10 基本相同,但释放量比温度高的 7、8 月份低(表 1)。

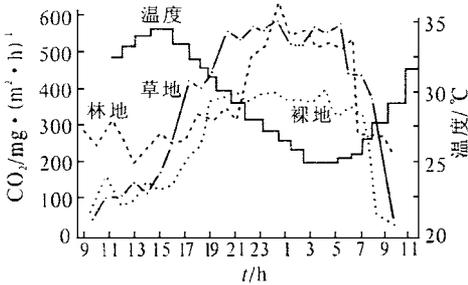


图 1 西安长延堡 1999-07-16 土壤 CO_2 释放量昼夜观测曲线

Fig.1 Curves of release amount of CO_2 from soils in 24 hours on July 16, 1999 at Changyan village in Xi'an

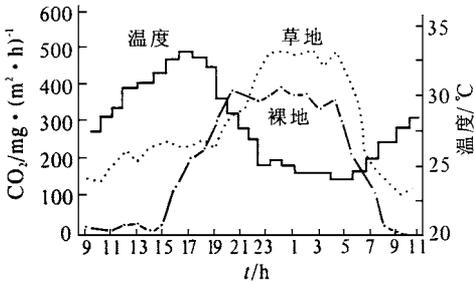


图 2 长安县双竹村 1999-07-23 土壤 CO_2 释放量昼夜观测曲线
Fig.2 Curves of release amount of CO_2 from soils in 24 hours on July 23, 1999 at Shuangzhu village in Chang'an

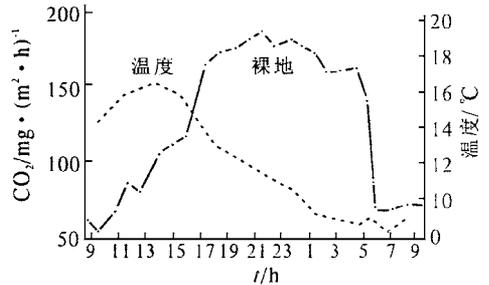


图 3 西安长延堡 1999-10-16 林地 CO_2 昼夜观测曲线
Fig.3 Curve of release amount of CO_2 from forest land in 24 hours on October 16, 1999 at Changyan village in Xi'an

3 讨论

观测资料显示,土壤 CO_2 昼夜释放量具有从低到高再到低的变化规律,这种变化特点与昼夜温度变化基本相同,但两者在时间上并不同步, CO_2 释放量变化相对于温度变化滞后 4 ~ 6 h。由于出现了较长时间的滞后,造成了土壤

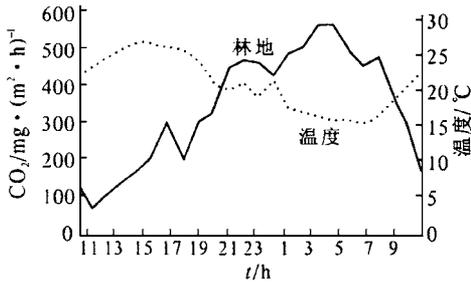


图4 西安长延堡 2000-04-25 林地 CO_2 昼夜释放量曲线

Fig. 4 Curve of release amount of CO_2 from forest land in 24 hours on April 25, 2000 at Changyan village in Xi'an

CO_2 释放量高的时段对应于温度低的时段, 释放量低的时段对应于温度高的时段(图 1~4)。这种对应关系是一种假象, 不能由此判断气温高时土壤 CO_2 释放量低, 气温低时 CO_2 释放量高。本观测表明, 西安从 7 月到 12 月, 随温度降低, CO_2 释放量显著减少(表 1), 证明温度低 CO_2 释放量少, 温度高 CO_2 释放量多。大气温度向土壤深层的传递需要一个时间过程, 乔木覆盖的土层气温传递所需时间更长, 这就应当是 CO_2 释放量会出现不同滞后时间的原因。

土壤 CO_2 释放量的多少主要是微生物活动强弱决定的^[6]。微生物在分解有机质的过程中放出 CO_2 , 土壤中约有 60% 的 CO_2 是这样产生的^[6]。土壤中微生物数量越多, 产生的 CO_2 越多。微生物数量多少、活动强弱主要是温度、湿度决定的, 温度高、湿度大, 微生物数量多、活动强, 反之, 则少而弱。在一昼夜内, 土层温度变化大, 湿度变化很小, 所以一昼夜内 CO_2 释放量的多少主要是受土层温度控制的。

在相邻的观测点上, 裸地 CO_2 释放量较草地和林地少, 这是植被的多重作用造成的。植被的覆盖一是使土层蒸发减少, 导致土层湿度较大; 二是植被改善了土层结构, 使土层疏松多孔; 三是植被在土层中产生了较多有机质, 为微生物活动提供了能源。这 3 方面的作用有利于微生物的活动, 促使了 CO_2 含量增加。

在土壤 CO_2 释放量升高或降低的过程中, 均出现了一些小幅度波动, 有时会出现较大的波动, 这是非正常的变化。这种波动不能反映释

放量的自然变化, 而应当是实验圆桶所放位置土层差异及滴定误差造成的。西安观测点位于疏松的马兰黄土之上, 长安观测点位于较密实的冲积土之上, 这是前 2 个观测点较后 1 观测点 CO_2 释放量高的原因。重复观测实验和 24 小时对比观测实验表明, 本文所采用的碱溶液吸收法所获结果是比较好的。在操作仔细的情况下, 误差可控制在 10% 以下。

4 结论

(1) 西安地区土壤 CO_2 释放量从当日 09:00~09:00(次日) 呈现由少到多再到少的变化规律, 这种变化规律主要是受影响微生物活动的温度控制的。

(2) 西安林地土壤 CO_2 释放量比草地大, 草地 CO_2 释放量比裸地大。松散多孔的风积黄土 CO_2 释放量比密实的冲积土大。不论是何种植被, 何种性质的土层, 白天 12 小时释放量均小于夜间 12 小时释放量。

(3) 西安地区土壤 CO_2 释放量变化相对于温度变化具有滞后性, 林地滞后时间为 6 小时左右, 草地与裸地滞后时间为 4 小时左右。西安土壤 CO_2 释放量变化也受降水量制约, 降水增加, CO_2 释放量加大。滞后原因是大气温度向土壤下部传递需一定时间过程。

(4) 一昼夜内土壤 CO_2 释放量的观测结果常具波动表现, 这主要是土层结构及滴定误差引起的, 而非释放量的自然变化。

致谢: 参加观测工作的还有鲁晓波、王宏、陈再齐等同志, 对他们谨表真诚感谢!

参考文献:

- 袁道先. 现代岩溶学与全球变化研究. 地学前缘, 1997, 4(1, 2): 17~24.
- Keeling R F et al. Global and hemispheric CO_2 sinks deduced from changes in atmospheric concentration. Nature, 1996, 381: 218~221.
- 刘再华. 桂林岩溶地质实验场岩溶水文地球化学研究. 中国岩溶, 1992, 11(3): 209~217.
- 何师意. 岩溶土壤 CO_2 浓度、水化学观测及其与岩溶作用的关系. 中国岩溶, 1997, 16(4): 319~323.
- 赵景波. 西北黄土区第四纪土壤与环境. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994. 1~5.
- A D·麦克拉伦, G H·波得森, 丁·斯库金斯等. 土壤生物化学. 北京: 农业出版社, 1984. 490~491.