

长株潭地区不同土地利用类型 土壤呼吸动态变化研究

谢金宁¹,熊平生²,许中坚³,莫宏伟¹,全斌¹

(1. 湖南科技大学 建筑与城乡规划学院,湖南 湘潭 411201;

2. 衡阳师范学院 资源环境与旅游管理系,湖南 衡阳 421002;3. 湖南科技大学 化学化工学院,湖南 湘潭 411201)

摘要:以长株潭亚热带红壤地区为研究区,采用碱液(NaOH)吸收法对植物非生长季节(2011年12月-2012年5月)水田、旱地、马尾松林地和草地4种土地利用类型的土壤呼吸速率进行了测定,并结合水热等因子,对不同土地利用类型土壤呼吸速率的时间差异进行了因果分析.研究表明:4种土地利用类型土壤呼吸速率日变化呈单峰曲线,与气温变化趋势一致,水田和旱地土壤呼吸速率在中午最高,马尾松林地和草地土壤呼吸速率在晚上最高;在季节变化中,12月至5月份土壤呼吸速率总体呈上升趋势,但马尾松林地土壤呼吸速率1月份低于12月份、4月份低于3月份,草地则2月份低于1月份、4月份低于3月份;4种土地利用类型的平均土壤呼吸速率由大到小依次为:草地、马尾松林地、水田和旱地;土壤呼吸率主要与气温、土壤温度、湿度、植被生长特性、生物和人类活动等相关.

关键词:土地利用;土壤呼吸速率;日变化;季节变化;长株潭地区

中图分类号:S154 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-9102(2013)04-0123-06

全球气候变化已经受到广泛的关注,大气 CO₂ 浓度的增加被认为是全球变暖的重要原因^[1]. 土壤是陆地生态系统中最主要的碳库,碳储量约占生物圈陆地总碳储量的 2/3,土壤呼吸是土壤碳库输出及全球碳循环的主要途径^[2],其在数量上的微小改变可能对大气中 CO₂ 含量的变化具有相当大的影响. 因此,对于不同陆地生态系统下土壤 CO₂ 排放量的时空波动分析,已成为碳循环和全球变化研究中的热点问题之一.

土壤呼吸是多因素影响的过程,表现有明显的昼夜、月份、年际和世纪变化,这些变化格局强烈影响着陆地生态系统碳“汇”强度和大气 CO₂ 浓度的时间变化格局. 而不同土地利用方式下,土壤呼吸强

度和变化格局的差异较大^[3]. 近一二十年来,中国科学家运用不同的方法分别对森林、草原、高山草甸等生态系统的碳储量以及土壤呼吸进行了研究^[4-8],尤其对 CO₂ 释放起主要作用的土壤的碳通量进行测定和分析^[9]. 同时对耕地,尤其是小麦地和水稻田正常的施肥等条件下的土壤呼吸也有较多的研究^[10-12]. 但针对长株潭亚热带红壤地区具有代表性的水田、旱地、马尾松林地和草地4种土地利用类型的土壤呼吸速率的研究相对较少^[13].

本研究选取长株潭地区4种典型土地利用方式非生长季节的土壤呼吸进行连续观测,探讨土壤呼吸速率的日变化和月变化特征及其机理,分析比较它们之间的差异和影响其变化的主要原因. 探索和

收稿日期:2013-04-09

基金项目:湖南省自然科学基金项目(14JJ4042;14JJ2098);湖南省科技厅软科学项目(2011ZK3037);湖南省教育厅科研项目(11C0514)

通信作者:谢金宁(1975-),男,湖南益阳人,硕士,讲师,主要从事国土资源管理与区域开发等方面的研究. E-mail: xjn008@163.com

认清该区域主要土地利用类型土壤 CO₂ 释放规律, 为丰富长株潭地区不同土地利用类型土壤呼吸速率基础数据, 为科学评估研究该区土地利用类型/覆盖变化对碳循环的影响以及所引起的生态环境效应提供科学依据, 为长株潭地区建立低碳经济型土地利用模式提供理论基础.

1 研究地区概况

长株潭地区是指长沙、株洲和湘潭 3 市所辖的区域, 是湖南省经济发展的核心增长极. 在地理位置上, 长株潭 3 市位于长江中游之南、南岭以北, 处在湖南省中东部丘陵区, 沿湘江呈品字形分布, 两两相距不足 45 km, 已形成一个联系紧密的城市群. 长株潭地区居东经 111°53' ~ 114°15', 北纬 26°03' ~ 28°5', 总面积 2.824 × 10⁴ km², 属较典型的大陆性中亚热带湿润气候, 四季分明, 春温多变, 夏秋多晴, 严冬期短, 暑热期长. 年均气温 17.5 °C, 无霜期 286 d 以上. 雨量充沛, 光热充足, 年均降雨量 1 378 mm 左右, 多年平均光照时数达 1 665 h.

长株潭地区的地形多为山地和丘陵, 平均海拔在 400 m 以上, 地形自东、西部向中部倾斜, 向北逐级降低, 东西部多为中山. 研究区域以红壤、水稻土为主, 分别占土壤总面积的 70% 与 25%. 有林地 1 342 097.7 hm², 森林覆盖率达 54.7%, 主要树种为马尾松、杉木和楠竹等.

2 研究方法 with 数据采集

本研究选取该区 4 种典型土地利用方式的 4 块样地 (见表 1), 并分别设立一个土壤呼吸测定点, 安装一个百叶箱. 实验之前挖好一个 6 cm 深的圆形土环, 同时将隔离环内的绿色植物剪除, 并尽可能不扰动地表的凋落物和土壤. 实验时, 首先将一个小铁三角置于样地上, 把用广口瓶 (广口瓶瓶口直径 6 cm) 装好的 20 mL 的 1 mol/L 的 NaOH 溶液放在铁三角架上, 并盖上铁质圆桶 (铁质圆桶直径为 30 cm, 高度为 35 cm), 然后压实周围土壤, 以保证圆桶内的密闭性. 同时用百叶箱测量测定点的气温, 以此来指示气温的变化情况.

表 1 4 块样地情况表
Tab. 1 The circumstances of the four flots

| 序号 | 土地利用类型 | 位置 | 经纬度 | 区域特征 |
|----|--------|-------------------|-----------------------------------|-------------|
| 1 | 水田 | 湘潭市雨湖区响水乡万家屋场附近 | 北纬 27°55'20.29"; 东经 112°53'4.12" | 丘陵、水稻土 |
| 2 | 旱地 | 湘潭市雨湖区步步高大道旁 | 北纬 27°53'2.9"; 东经 112°55'49.88" | 河流阶地、红壤 |
| 3 | 林地 | 长沙市岳麓区岳麓山湖南师范大学附近 | 北纬 28°11'29.96"; 东经 112°56'45.25" | 山地、马尾松林地、红壤 |
| 4 | 草地 | 株洲市攸县东山镇附近 | 北纬 27°2'5.37"; 东经 113°19'24.57" | 山谷地、红壤 |

实验为植物非生长季节的 6 个月 (从 2010 年 12 月至 2011 年 5 月), 每月选择上旬、中旬和下旬晴天或阴天的一天进行测量, 每天进行 3 次, 间隔 2 h 测量一次 (早上 8:00 - 10:00, 中午 12:00 - 14:00, 下午 16:00 - 18:00). 对取回的碱液样品的具体实验方法为: 首先用过量的 1 mol/L 的 BaCl₂ 滴入采集回来的溶液瓶中使其产生沉淀 BaCO₃, 再加入少量酚酞, 溶液为红色; 再用 mol/L 的 HCl 滴定直到溶液刚好变为无色, 记下所用 HCl 的量 X₁ mL, 用空白实验所用 HCl 的量 X₂ 减去 X₁, 并由此分别计算水田、旱地、马尾松林地和草地的 CO₂ 的释放量.

$$\eta_{\text{CO}_2} = \frac{22 \cdot X}{t \times A}$$

式中, η_{CO_2} 为土壤 CO₂ 平均释放强度, g · m⁻² · h⁻¹; X = X₂ - X₁, X₁ 为滴定时所用 HCl 的量, X₂ 为空白实验所用 HCl 的量, L; t 为吸收时间, h; A 为吸收面积, m².

3 结果与分析

3.1 水田、旱地、马尾松林地和草地土壤呼吸日变化

水田和旱地的土壤呼吸强度变化为中午最大 (图 1a 和图 1b), 如水田 1 月份至 5 月份平均值分别为 0.046 71, 0.116 775, 0.186 84, 0.256 905,

0.342 54, 0.506 025 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 晚上次之, 分别为 0.031 14, 0.070 065, 0.163 485, 0.194 625, 0.319 185, 0.443 745 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 而早上达到最低值, 分别为 0.023 355, 0.062 28, 0.140 13, 0.210 195, 0.303 615, 0.498 24 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. 根据 12 月份到第二年 5 月份的平均气温的测定显示: 中午平均温度最高, 早上最低, 晚上介于两者之间. 根据实际测量气温和地温(地下 5~10 cm 处)具有相对一致性, 因此, 土壤呼吸强度与气温(或地温)呈明显正相关性, 相关系数达 0.95 以上, 说明这种土地利用类型的土壤呼吸强度主要与气温有关.

在温度日变化趋势相同的情况下, 马尾松林地和草地的土壤呼吸强度在晚上出现最大值(图 1c 和图 1d), 如马尾松林地 12 月份至 5 月份晚上土壤呼吸速率分别为 0.172 85, 0.113 14, 0.276 57, 0.383

42, 0.377 14, 0.471 42 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 而中午略低, 分别为 0.141 4, 0.106 85, 0.235 71, 0.367 71, 0.352, 0.44 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. 原因是马尾松和草地枝叶繁盛, 对太阳光具有很强的遮挡作用, 升温缓慢, 底下土壤对气温具有滞后性, 地温在晚上(18 h 左右)达到最高有效值, 土壤呼吸强度也将达到最高值. 蒋延玲, 周广胜, 赵敏等在研究长白山阔叶红松林土壤呼吸日动态变化中得出了相似的结论, 即土壤呼吸作用的变化比地表气温的变化滞后, 而与地下 5 cm 处土壤温度变化相一致^[10]. 研究结果表明马尾松和草地土温引起的土壤呼吸强度峰值的滞后性(图 2), 而水田和旱地由于植被覆盖率较小, 滞后性不明显, 土壤呼吸强度的峰值与中午最高气温相一致.

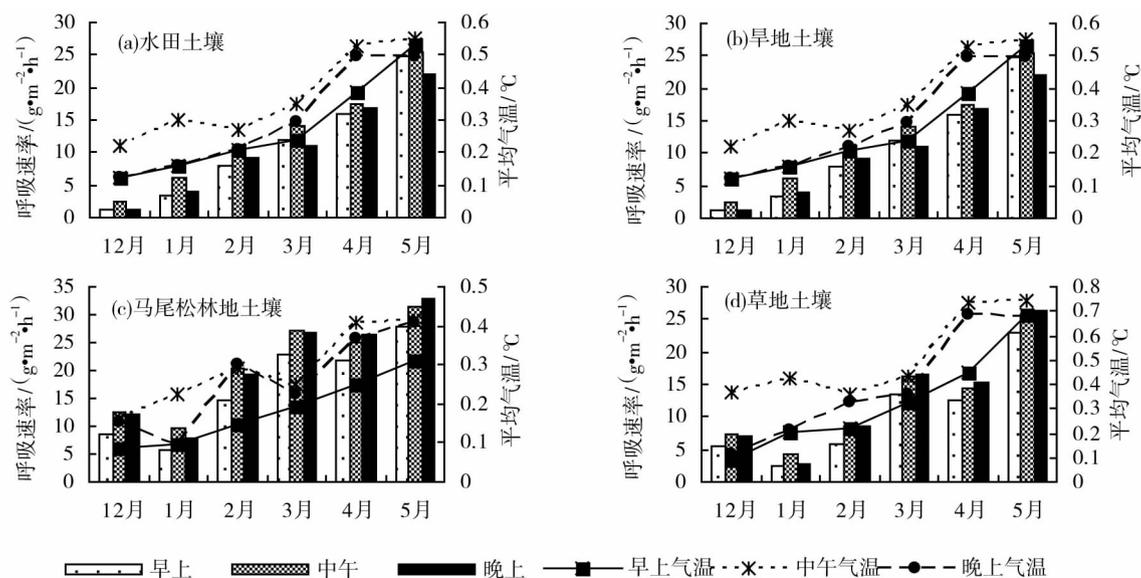


图 1 土壤呼吸强度日变化

Fig. 1 Soil respiration diurnal variation

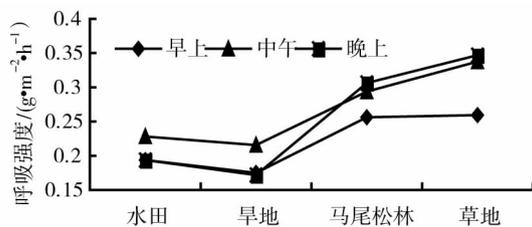


图 2 4 种土地类型土壤呼吸强度日变化比较

Fig. 2 Soil respiration diurnal comparison of four land types

3.2 水田、旱地、马尾松林地和草地土壤呼吸非生长季节变化

从 12 月份至次年 5 月份, 气温逐渐回升, 水田土壤呼吸强度也呈上升趋势. 土壤呼吸速率由 12 月份的 0.035 033 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 增长到 5 月份的 0.482 67 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 上升幅度较大, 温度成为了主导因素. 旱地土壤呼吸强度的变化趋势与水田相似(见图 3), 5 月份土壤呼吸速率高达 0.454 092 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$

· h⁻¹. 而马尾松林地相同的温度变化趋势下,其土壤呼吸速率都出现了1月份低于12月份、4月份低于3月份的现象(土壤呼吸速率1月份和12月份分别为0.105 81和0.147 714 g · m⁻² · h⁻¹,4月份和3月份分别为0.331 381和0.407 786 g · m⁻² · h⁻¹),草地土壤呼吸速率同样出现了2月份低于1月份、4月份低于3月份的现象(土壤呼吸速率2月份和1月份分别为0.194 857和0.822 318 g · m⁻² · h⁻¹,4月份和3月份分别为0.347 023和0.511 5 g · m⁻² · h⁻¹).

马尾松林地和草地的土壤呼吸速率4月份低于

3月份,这与4月份的降水量低于3月份有关,降水激活了土壤微生物的活性;同时3月时根系经过恢复生长后正处于生长旺盛期,呼吸增强. de Jong E等在对北美矮草原的研究中得出,雨后的土壤呼吸强度可增加7倍. 对于马尾松林地土壤呼吸速率1月份低于12月份以及草地土壤呼吸速率2月份低于1月份,除了降水差异引起的微生物活性外,植被的生长习性也是一个重要因素. 张鸽香、徐娇等对南京城市公园绿地不同植被类型土壤呼吸的变化研究发现:植被的生长习性对土壤呼吸大小有一定的影响^[14].

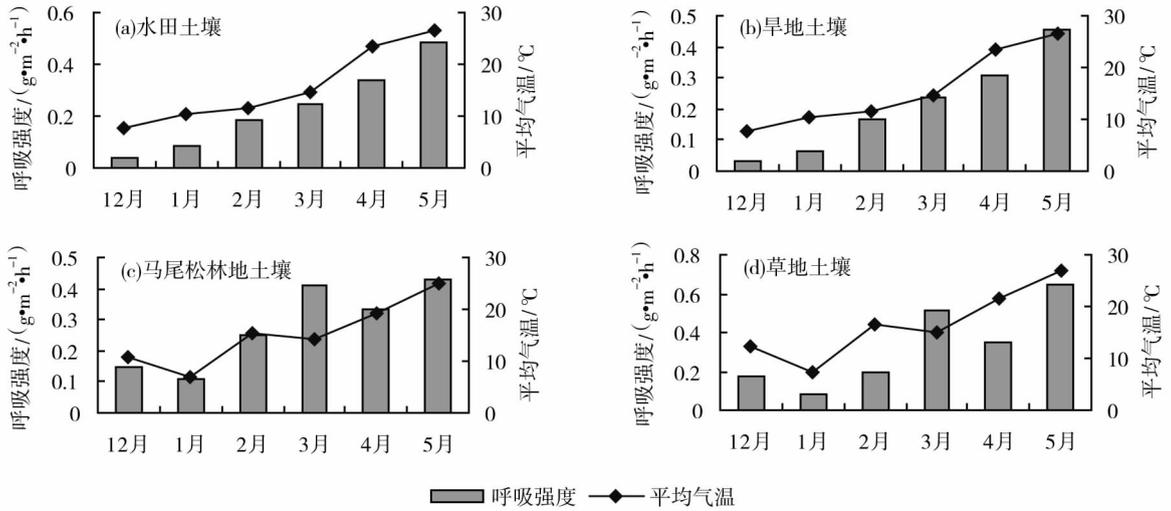


图3 土壤呼吸强度日变化

Fig. 3 Soil respiration non-growing seasonal variation

草地6个月平均土壤呼吸强度最大(见图4),达到0.45 g · m⁻² · h⁻¹,其次为马尾松林地(0.277 805 g · m⁻² · h⁻¹),水田(0.228 144 g · m⁻² · h⁻¹),旱地土壤呼吸强度最小,仅有0.210 406 g · m⁻² · h⁻¹. 说明生长能力和对温度敏感性越强的植被由于

根系众多且发达,与其协同生长的微生物活性越强,所释放的CO₂越多;反之,CO₂释放量越少.

4 结论

通过对上述4种土地类型的土壤呼吸强度变化的对比研究,日变化呈单峰曲线,水田和旱地土壤呼吸速率在中午最高,马尾松林地和旱地土壤呼吸速率在晚上最高. 在季节变化中,从12月份至次年5月份,土壤呼吸速率总体呈上升趋势,只有马尾松林地土壤呼吸速率1月份低于12月份、4月份低于3月份,草地则2月份低于1月份、4月份低于3月份. 同时,在4种土地类型中,土壤呼吸速率由大到小依次为草地、马尾松、水田和旱地.

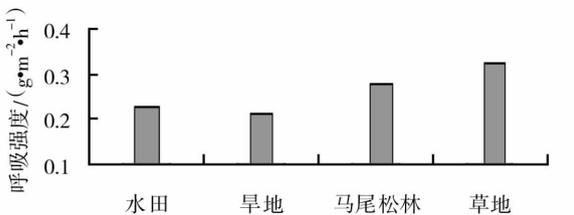


图4 4种土地类型6个月土壤平均呼吸强度

Fig. 4 Land the average soil respiration intensity of four types for six months

土壤呼吸强度的变化主要受气温(或地温)的影响。首先,温度升高会导致土壤中微生物的呼吸作用加强,微生物的活性增强。中午温度比一天当中其他时间要高,土温与气温的变化趋势一致(在植被覆盖率较高的区域,土温对气温具有滞后性),从而可以加速土壤有机质的分解;反之,微生物活性减弱。其次,温度会影响地面辐射,也会影响土壤向大气中送出 CO₂ 的强度,温度越高,CO₂ 向大气的输送能力越强。再者,土温会影响植物的生长和生理活动,进而影响到根系的呼吸作用。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2001: Synthesis Report [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [2] 刘绍辉,方精云. 土壤呼吸的影响因素及全球尺度下温度的影响[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 469-476.
Liu S H, Fang J Y. Effect factors of soil respiration and the temperature's effects on soil respiration in the global scale [J]. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(5): 469-476.
- [3] 张丽华,陈亚宁,李卫红,等. 干旱荒漠区不同土地利用/覆盖类型土壤呼吸速率的季节变化[J]. 中国科学 D 辑, 2006, 36(增 II): 68-76.
Zhang L H, Chen Y N, Li W H, et al. Seasonal changes of soil respiration of different land Use/Cover types in arid desert region [J]. Science in China, Series D, Earth Sciences, 2006, 36(Sup II): 68-76.
- [4] 刘世荣,王晖,栾军伟. 中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展[J]. 生态学报, 2011, 31(19): 5437-5448.
Liu S R, Wang H, Luan J W. A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5437-5448.
- [5] 张俊兴,苏宏新,刘海丰,等. 3 种温带森林土壤呼吸季节动态及其驱动机制[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2011, 32(4): 160-167.
Zhang J X, Su H X, Liu H F, et al. Seasonal dynamic and drive mechanism of soil respiration in three temperate forests [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science), 2011, 32(4): 160-167.
- [6] 鲍芳,周广胜. 中国草原土壤呼吸作用研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 713-726.
Bao F, Zhou G S. Review of research advances in soil respiration of grassland in China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(6): 713-726.
- [7] 罗光强,耿元波. 羊草草原和贝加尔针茅草原生态系统呼吸的差异分析[J]. 环境科学, 2010, 31(11): 2732-2739.
Luo G Q, Geng Y B. Analysis of difference between ecosystem respirations of *Ieymus chinensis* Steppe and *Stipa baicalensis* Steppe [J]. Environmental Science, 2010, 31(11): 2732-2739.
- [8] 常宗强,冯起,司建华,等. 祁连山高山草甸土壤 CO₂ 通量的时空变化及其影响分析[J]. 环境科学, 2007, 28(10): 2389-2395.
Chang Z Q, Feng Q, Si J H, et al. Analysis of the spatial and temporal changes in soil CO₂ efflux and its related factors from alpine meadow in Qilian Mountains [J]. Environmental Science, 2007, 28(10): 2389-2395.
- [9] 黄湘,陈亚宁,李卫红,等. 塔里木河中下游胡杨群落土壤碳通量日变化研究[J]. 自然科学进展, 2006, 16(11): 1405-1410.
Huang X, Chen Y N, Li W H, et al. A diurnal variation research on soil carbon flux change of *populus euphratica* community in middle and lower Tarim reaches [J]. Progress in Natural Science, 2006, 16(11): 1405-1410.
- [10] 刘合明,刘树庆. 不同施氮水平对华北平原冬小麦土壤 CO₂ 通量的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1125-1129.
Liu H M, Liu S Q. Effect of different nitrogen levels on soil CO₂ fluxes of winter wheat in north China plain [J]. Ecology and Environment, 2008, 17(3): 1125-1129.
- [11] 毕建杰,王琦,张衍华,等. 施肥对不同品种麦田 CO₂ 通量的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(6): 459-459.
Bi J J, Wang Q, Zhang Y H, et al. Effects of fertilizer application on CO₂ fluxes from wheat land [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(6): 459-463.
- [12] 唐英平,尹云锋,高人,等. 林地和水田土壤呼吸的对比研究[J]. 热带地理, 2008, 28(2): 109-113.
Tang Y P, Yin Y F, Gao R, et al. A comparative study of the soil respiration of forest-soil and paddy-soil [J]. Tropical Geography, 2008, 28(2): 109-113.
- [13] 王玲,吕殿青,覃志斌,等. 岳麓山风景区坡面林地土壤理化特征评析[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2011, 34(2): 84-88.
WANG Ling, LV Dian-qing, QIN Zhi-bin, et al. Review and Analysis of Soil Physical and Chemical Characteristics on Woodland Slope in Yuelu Mountain [J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2011, 34(2): 84-88.
- [14] 张鸽香,徐娇,王国兵,等. 南京城市公园绿地不同植被类型土壤呼吸的变化[J]. 生态学杂志, 2010, 29(2): 274-280.
Zhang G X, Xu J, Wang G B, et al. Soil respiration under different vegetation types in Nanjing urban green space [J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(2): 274-280.

Soil respiration dynamics for different land use types of Changsha – Zhuzhou – Xiangtan region

XIE Jin – Ning¹, XIONG Ping – Sheng², XU Zhong – Jian³, MU Hong – Wei¹, QUAN Bin¹

(1. School of Architecture and Urban Planning, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. The Department of Resource Environment and Travel Management, Hengyang Normal University, Hengyang 421002, China;

3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Soil respiration rates under four land use patterns in the red soil region of Changsha – Zhuzhou – Xiangtan region were measured by the lye (NaOH) absorption method during the non – growing season of December 2011 to May 2012. Differences in soil respiration under the four land use patterns and the relationships between soil respiration and air temperature and soil water contents were analyzed. The results showed that daily changes of soil respiration presented single peak curves, and that of air temperature followed a similar trend. Paddy field and non – irrigated farmland had the highest values at noon, while land of pinus massoniana and grassland had the highest values in the evening. Seasonal changes of soil respiration presented increasing trend from December to May as a whole. But soil respiration rate of land of pinus massoniana in January less than that in December, and so does in April less than in March. As to respiration rate of grassland in February less than that in January and so does in April lower than in March. Estimating the soil respiration gave CO₂ effluxes from grassland, land of pinus massoniana, paddy field and non – irrigated farmland, during the non – growth season, of 0.45, 0.277 805, 0.228 144, 0.210 406 g · m⁻² · h⁻¹, respectively. The results also show that air temperature, soil temperature, humidity, vegetation growth characteristics, biological and human activities are closely related to CO₂ respiration.

Key words: land use pattern; soil respiration rate; daily changes; seasonal changes; Changsha – Zhuzhou – Xiangtan region