

文章编号: 1008-2786-(2013)5-548-07

紫色土旱坡地土壤异养呼吸速率及其温度敏感性

花可可^{1 2 3} 王小国^{1 2} 朱波^{1 2*}

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所 四川 成都 610041;

2. 中国科学院山地表生过程与生态调控重点实验室 四川 成都 610041; 3. 中国科学院大学资源与环境学院 北京 100039)

摘 要: 为探讨紫色土旱坡地土壤异养呼吸速率特征,采用静态暗箱-气相色谱法于 2010 年 12 月至 2011 年 10 月观测了土壤异养呼吸日变化、季节性变化及土壤温度和湿度。结果表明:土壤异养呼吸速率日变化特征呈单峰型曲线,其最大值和最小值分别出现在 16:00 和 08:00;土壤异养呼吸速率季节变化明显,冬季低,夏季高,最大值为 654.2 mg CO₂/(m² h),最低值为 38.1 mg CO₂/(m² h),平均值为 325.2 mg CO₂/(m² h),小麦季土壤异养呼吸 CO₂ 排放总量为 307.9 g C/m²,玉米季为 384.8 g C/m²,全年为 692.7 g C/m²,玉米季土壤异养呼吸 CO₂ 排放总量显著高于小麦季($P < 0.05$);小麦季土壤异养呼吸敏感性参数 Q_{10} 值高于玉米季,说明小麦季土壤异养呼吸速率对温度变化较玉米季敏感。地表温度和土壤 5 cm 温度的 Q_{10} 值分别为 3.16 和 3.22,土壤 5 cm 温度对土壤异养呼吸速率的影响较地表温度敏感;当土壤湿度(WFPS)高于 60% 时,土壤湿度和土壤异养呼吸速率为显著的负相关($R = -0.550$, $P = 0.02$),60% 以下二者无显著关系,该研究可为调控紫色土旱坡地有机碳气态支出过程提供参考。

关键词: 土壤异养呼吸速率;土壤温度;土壤湿度;旱坡地;紫色土

中图分类号: S152 S155.2+5

文献标志码: A

土壤异养呼吸(土壤微生物、土壤动物及含碳物质的化学分解)作为土壤呼吸的重要组成部分,其速率的高低及变化过程是反映土壤有机碳分解快慢的重要指标^[1-2],阐明农田土壤异养呼吸特征及影响因素对准确评价农田土壤有机碳气态损失过程具有重要的现实意义。土壤呼吸主要包括根系呼吸和微生物呼吸^[3],从土壤呼吸的生理机制来说,前者是自养呼吸,后者为异养呼吸。相关研究已表明,根系呼吸不是土壤本身有机碳的损失,在研究土壤有机碳的支出过程时必须将根系呼吸从土壤总呼吸中扣除^[4],而土壤异养呼吸是评价土壤有机碳收支的关键环节。目前,国内外关于土壤呼吸的研究较为活跃,森林、草地、湿地及农田均有所涉及^[5-7]。

但该类的研究多是以土壤-植物系统为基础,对土壤异养呼吸的研究相对缺乏。

紫色土在四川盆地面积高达 16×10^4 km²^[8-9]。紫色土旱坡地作为长江中上游主要的耕作性土壤,土壤薄且有机碳含量低。土壤异养呼吸所排放的 CO₂ 可能是降低土壤有机碳含量的一个非常重要的因素。因此,本文通过一年的定位试验,系统地研究紫色土坡耕地土壤异养呼吸速率日、季节动态变化特征,并探讨土壤温度、湿度与土壤异养呼吸速率的相互作用关系,旨在全面了解紫色土坡耕地土壤异养呼吸速率特征及影响因素,以为调控紫色土坡耕地有机碳气态支出过程,增强土壤固碳能力提供理论参考。

收稿日期(Received date): 2013-03-17; 改回日期(Accepted): 2013-06-08。

基金项目(Foundation item): 中国科学院战略先导专项子课题“西南农田土壤固碳潜力与速率研究”(XDA05050506)。[Supported by the Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, Climate Change: Carbon Budget and Relevant Issues, Grant No. XDA05050506.]

作者简介(Biography): 花可可(1983-),男,博士生,主要从事农田生态系统碳水循环研究。[Hua Keke(1983-), male, doctor candidate, major in research on soil organic carbon cycling in agricultural ecosystem.] E-mail: huakeke1220@126.com

* 通信作者(Corresponding author): 朱波(1966-),男,博士,博士生导师,主要从事土壤与农业环境研究。[Zhu Bo(1966-), male, doctor, professor Ph D supervisor, major in research on soil and environment in agricultural ecosystem.] E-mail: bzhu@imde.ac.cn

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验点位于中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站内(105° 27'E ,31°16'N) 。该站位于四川盆地中北部的盐亭县林山乡 ,地处涪江支流弥江、湍江的分水岭上 ,属中亚热带湿润季风气候 ,年均气温 17.3℃ ,极端最高气温 40℃ ,极端最低气温 -5.1℃ ,多年平均降雨量 826 mm。土壤为石灰性紫色土 ,质地为中壤 ,田间持水量为 28.1% ~37.8% ,凋萎系数为 5.4% ~7.7% ,土层厚度为 20 ~60 cm ,土壤剖面下层蓬莱镇组泥页岩透水较弱。

1.2 试验设计

试验小区海拔 420 m ,坡向西北 - 东南 ,坡度 6.5° ,坡长 8 m ,宽度为 4 m ,面积为 32 m² ,整个土层厚度约为 60 cm ,种植制度为冬小麦 - 夏玉米。观测期(2010 - 12 - 10—2011 - 10 - 15) 总降雨量为 1 008.2 mm ,5—9 月降雨量为 893.6 mm ,占总降雨量的 88.6% 。施肥为当地大田常规施肥(简称 NPK) ,试验小区设置三个重复。小麦季施氮肥总量为 130 kg N/hm² (以纯 N 计) 、磷肥 90 kg P₂O₅/hm²、钾肥 36 kg K₂O/hm²; 玉米季施氮肥 150 kg/hm² (以纯 N 计) 、磷肥和钾肥同小麦季。施肥方式采用基肥一次性于播种前人工施入 ,耕作和施肥同步 ,耕作方式为人工锄耕 ,深度为 20 cm。冬小麦采取撒施的方式 ,夏玉米为穴施 ,冬小麦施肥时间为 2010 - 10 - 31 ,夏玉米为 2011 - 06 - 09。氮肥为碳酸氢铵 ,磷肥为过磷酸钙 ,钾肥为氯化钾。小麦和玉米季各处理施肥设计方案见表 1。

2010 - 09 - 17 玉米收获后采集 0 ~20 cm 表层土壤样品用于测试基本理化性质(表 2) ,测定参考土壤农业化学分析方法^[10]。土壤有机碳重铬酸钾容量法; 土壤全磷采用酸溶 - 钼锑抗比色法; 土壤硝态氮紫外可见分光光度双波长法; pH 电位法、容重环刀法、土壤机械组成采用吸管法。

表 1 肥料类型与用肥量

Table1 Detailing application amount of mineral fertilizers during growing seasons

生长季 Growing season	化肥 Mineral fertilizer		
	N /(kg/hm ²)	P ₂ O ₅ /(kg/hm ²)	K ₂ O /(kg/hm ²)
小麦(Wheat)	130	90	36
玉米(Maize)	150	90	36

1.3 土壤异养呼吸速率测定

土壤异养呼吸速率测定采用根去除法^[11] ,其排放速率测定采用静态暗箱 - 气相色谱法^[12]。用于静态箱采样底座布置于试验小区中坡植株之间的空地上 ,为避免采样时对样地的踩踏 ,搭载木制栈桥。底座夯入土壤 20 cm ,并用附近土壤将底座四周小心围起 ,使其与整个田面相平。为消除底座周围植物根系的干扰 ,底座四周各留 50 cm 的保护行 ,并定期去除保护行及底座内杂草。底座大小为 50 × 50 × 20 cm(长 × 宽 × 高) ,材料为不锈钢。种植时各底座内单独施肥 ,不播撒种子 ,施肥比例与试验小区相同; 气体采样顶箱的大小为 50 × 50 × 50 cm(长 × 宽 × 高) ,采样箱内装 2 个轴流混气扇、1 个采样管和 1 个温度探头 ,实验设置 3 个重复。观测时间为 2010 年 12 月至 2011 年 10 月 ,观测频率为每周 1 ~2 次 ,为减少土壤异养呼吸日变化差异的影响 ,观测时间固定在每天 9:00 ~11:00 进行 ,气体采集时间间隔为 7 min ,共采集 4 个样品^[12]。采集的气样保存在 50 mL 医用注射器内 ,并放入整理箱 ,避光保存 24 h 内分析完成。气体 CO₂ 浓度分析用安捷伦 7890 气相色谱仪(GC) FID 检测器进行 ,高纯氮(99.999 9 %) 做载气 ,通过标准气体和待测气体的峰面积来计算待测气体中 CO₂ 的浓度 ,土壤异养呼吸速率用单位时间单位面积观测箱内该气体质量的变化 ,计算公式如下

$$F = \frac{1.2 \times 10^{-4} \times P \times H}{273.15 + t} \times \frac{dc}{dt} \quad (1)$$

表 2 试验小区 0 ~20 cm 土壤基本理化性质

Table 2 Physicochemical properties of the experimental soil at 0 ~20 cm soil depth

有机碳	全磷	硝态氮	pH	容重	砂粒	粉粒	粘粒
SOC	Total P	NO ₃ ⁻ - N	(水土比	Soil bulk	Sand	Slit	Clay
/(g/kg)	/(g/kg)	/(mg/kg)	Water soil ratio) 2.5: 1	/(g/cm ³)	/%	/%	/%
7.54	1.05	3.5	8.8	1.30	31.6	29.6	38.8

式中 F 为土壤异养呼吸速率 [$\text{mg CO}_2/(\text{m}^2 \text{h})$]; P 为采样点气压 (bar); H 为采样箱的高度 (cm), 本文为 50 cm; t 为每次采样 21 min 内箱内温度的平均值; $\frac{dc}{dt}$ 为箱内 CO_2 气体浓度的变化速率。

1.4 环境因子测定

在采集气体的同时,同步测定地表(0~5 cm)体积含水率、地表及土壤 5 cm 处土壤温度。土壤体积含水率用便携式测墒计 (MPKit-B, 杭州托普仪器有限公司) 测定,土壤温度使用便携式温度计 (JM624 Digital Thermometer 公司) 测定,并用盒式气压计读取当日气压并记录天气状况。

1.5 数据处理与计算

土壤中水分含量用 WFPS (water-filled pore space, 总孔隙含水率) 表示

$$WFPS = \frac{SWM}{1 - (BD/PD)} \quad (2)$$

式中 SWM 为土壤体积含水率 (%); BD 为土壤容重 (g/cm^3); PD 为土壤密度,取 $2.65 \text{ g}/\text{cm}^3$; 采用 $R_s = ae^{bT}$ (a 、 b 为常数, T 为土壤温度) 拟合土壤温度和土壤异养呼吸速率的关系,土壤呼吸温度敏感性参数用 Q_{10} 表示 ($Q_{10} = e^{10b}$)。采用一元线性回归方程拟合土壤湿度和土壤异养呼吸速率的相关关系。土壤温度、土壤湿度、土壤异养呼吸速率日变化、季节性变化以及平均呼吸速率均在 Sigmaplot 10.0 下绘制,相关性分析均在 SPSS 17.0 下进行。

2 结果与分析

2.1 土壤温度、湿度季节性变化

图 1 中 A、B、C 分别表示土壤温度和湿度季节性变化。地表和土壤 5 cm 温度变化趋势基本相同,总体为先升后降的变化趋势,冬季温度最低,春季温度缓慢回升至夏季达到最大(图 1A、B)。地表及土壤 5 cm 温度 11 月最低,7 月达到最高。地表及土壤 5 cm 平均温度分别为 20.3°C 和 19.5°C ,地表温度稍高于土壤 5 cm 温度。图 1 中 C 为土壤湿度变化,全年最大值为 72.3%,最小值为 14.9%,平均值为 51.5%。小麦季观测期内(2010-12-10—2011-05-30)平均土壤湿度为 48.86%,变异系数分别为 33%,玉米季观测期内(2011-06-09—2011-10-15)平均值为 53.62%,相应的空间变异系数为 34%,说明玉米季平均土壤湿度稍大且变化剧烈,主要因玉米季与该地区雨季(5—9 月)同步,干湿交替

明显,土壤湿度受降雨的影响较大(图 2)。

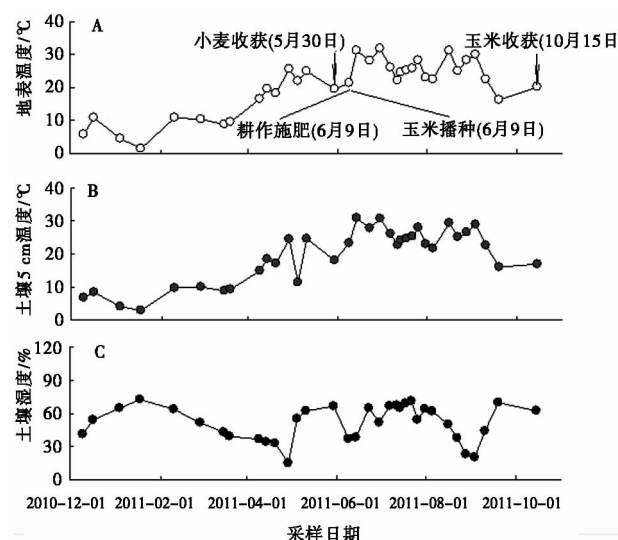


图 1 土壤温度、湿度季节变化

(A: 地表温度; B: 土壤 5 cm 温度; C: 土壤湿度)

Fig. 1 Seasonal variation of soil temperature and moisture during the whole experiment period

(A and B indicated soil temperature at 0 cm and 5 cm depth respectively; C indicated soil moisture)

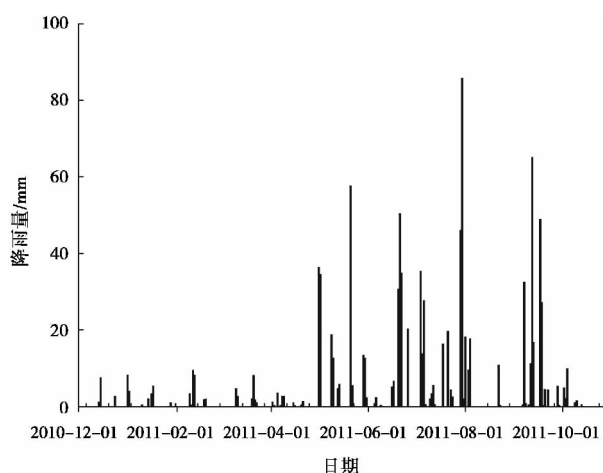


图 2 降雨量季节性变化

Fig. 2 Seasonal variation of rainfall during the whole experiment period

2.2 土壤异养呼吸速率日变化

土壤异养呼吸速率具有明显的日变化特征,图 3 表示的是 2011-08-20 的土壤异养呼吸日变化特征,整个过程呈现为单峰曲线,全天最大 CO_2 释放速率时间 16:00,呼吸速率达 $485.7 \text{ mgCO}_2/(\text{m}^2 \text{h})$,最小值出现在 08:00,其值为 $230.6 \text{ mgCO}_2/(\text{m}^2 \text{h})$ 。

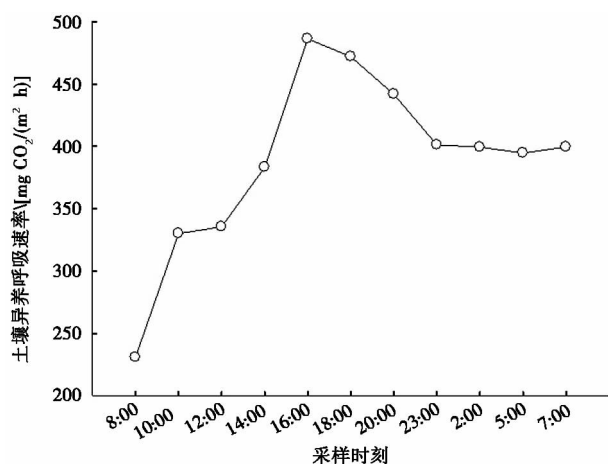


图3 土壤异养呼吸速率日变化

Fig.3 Diurnal variations of soil heterotrophic respiration rate

2.3 土壤异养呼吸速率季节变化及 CO₂ 排放总量

土壤异养呼吸速率季节性变化明显,变化趋势与土壤温度基本同步,冬季呼吸速率低,春季缓慢抬升至夏季达到最大(图4)。施肥后第5 d(6月14日)土壤异养呼吸速率达到峰值(2011-06-09施肥),在施肥后第14 d土壤异养呼吸速率增幅最大,高达 654.2 ± 42 [mg CO₂ / (m² h)],约为第1 d的2.44倍,而后第21 d(6月30日)开始急剧下降。小麦季土壤异养呼吸速率平均值为 212.9 ± 31.8 [mgCO₂ / (m² h)],玉米季平均呼吸速率为 408.2 ± 86.8 [mgCO₂ / (m² h)],小麦季土壤异养呼吸平均速率显著低于玉米季 ($P < 0.05$)。小麦季 CO₂ 排放总量为 307.9 ± 31.8 (g C/m²),玉米季为 384.8 ± 86.8 (g C/m²),全年为 692.7 (g C/m²) (图5)。

2.4 土壤温度与湿度对土壤异养呼吸速率的影响

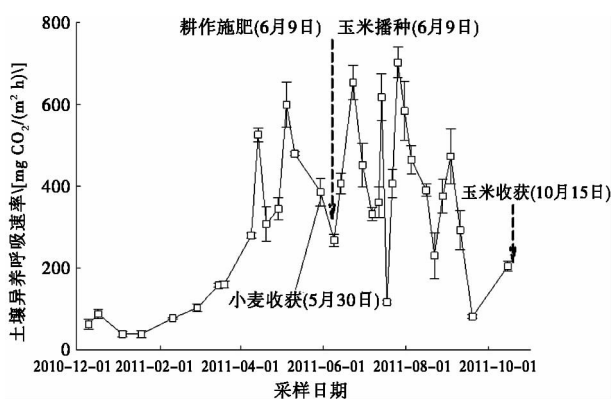
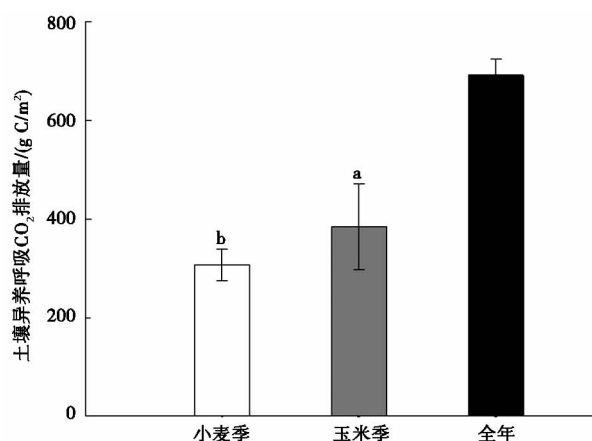


图4 土壤异养呼吸速率季节变化

Fig.4 Seasonal variation of soil heterotrophic respiration rate during the whole experiment period

图5 不同生长季节土壤异养呼吸 CO₂ 排放总量Fig.5 Cumulative soil CO₂ emissions during wheat and maize growing seasons

注: 不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 差异显著; 小麦季为 2010-10-31—2011-06-08, 含小麦休闲期 2011-05-30—06-08, 玉米季为 2011-06-09—10-30, 其中 10 月 15 日至 10 月 30 日为玉米休闲期。

通过对土壤异养呼吸速率日变化与地表和土壤 5 cm 温度别进行相关分析表明,土壤异养呼吸速率与土壤温度为显著正相关关系,地表和土壤 5 cm 温度的相关系数分别为 0.674 和 0.736 (图6),说明土壤温度可能是调控土壤异养呼吸速率日变化的重要因素;整个观测期土壤温度、土壤湿度与土壤异养呼吸速率的相关性及 Q_{10} 统计结果如表 3 所示。小麦季土壤 5 cm 和地表温度 Q_{10} 值分别为 3.22 和 3.16,玉米季土壤 5 cm 和地表温度 Q_{10} 值分别为 2.36 和 2.27,小麦季 Q_{10} 值均大于玉米季,土壤 5 cm Q_{10} 值大于地表温度 Q_{10} 值。整体而言,土壤湿度和土壤异

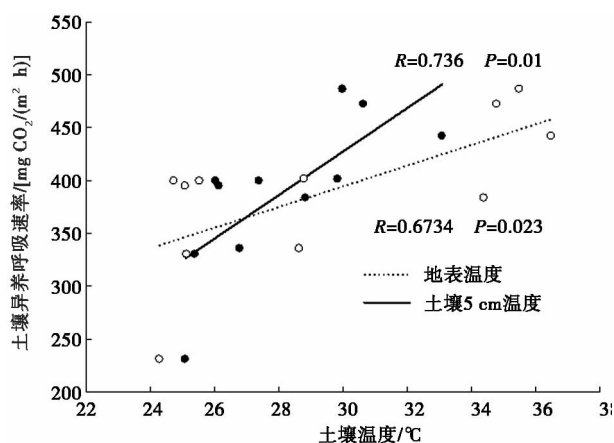


图6 土壤异养呼吸日变化速率与土壤温度相关关系

Fig.6 Correlation between soil heterotrophic respiration rate and soil temperature

养呼吸速率并无显著相关性。而进一步统计表明，当土壤湿度值大于 60% 时，土壤湿度和土壤呼吸速率为极显著负相关，相关系数为 -0.697 ($P < 0.01$) (图 7A)，而小于 60% 时，二者并无显著相关 (图 7B)。

3 讨论

土壤温度是影响土壤呼吸的关键因子之一，通过 $R = ae^{bT}$ 对土壤温度和土壤异养呼吸速率进行拟合得出呼吸温度敏感性参数 Q_{10} ^[13]。相关研究表明土壤呼吸 Q_{10} 值存在一定的时间变异性，其会随着

季节的改变而发生变化^[14-16]。在其他环境因子不受限制的条件下，一定的温度范围内，土壤异养呼吸 Q_{10} 值随着温度的升高而降低。例，Kirschbaum 等^[17]通过室内培养实验发现 Q_{10} 值对温度的变化较为敏感，认为低温下 Q_{10} 值在低温下较高，而在高温下较低。Chen 和 Tian^[18]通过对寒温带、温带和热带、亚热带的观测点的土壤呼吸数据统计发现，土壤呼吸 Q_{10} 值均随着土壤温度的升高而降低。本文常规施肥管理方式下小麦季的土壤异养呼吸 Q_{10} 高于玉米季，主要因小麦季土壤温度相对较低且变化剧烈，土壤异养呼吸对土壤温度的变化较为敏感，而玉米生长在夏季，该时期土壤温度相对较高，基本维持

表 3 土壤异养呼吸速率与土壤温度、土壤湿度的相关性及其温度敏感性系数 Q_{10}
Table 3 Relationships between soil heterotrophic respiration and soil temperature (T) measured 0 and 5 cm depths, soil moisture and the rate of soil respiration for each 10°C increase in soil temperature (Q_{10})

生长季	参数	a	b	拟合方程	相关系数	样本数	P	Q_{10}
小麦	土壤 5 cm	81.33	0.117	$y = 81.33e^{0.117T}$	0.83**	15	0.00	3.22
	地表	33.90	0.115	$y = 33.90e^{0.115T}$	0.92**	15	0.00	3.16
	WFPS	—	—	—	-0.24	15	0.41	—
玉米	土壤 5 cm	38.89	0.086	$y = 38.89e^{0.086T}$	0.63**	18	0.01	2.36
	地表	41.18	0.082	$y = 41.18e^{0.082T}$	0.62**	18	0.01	2.27
	WFPS	—	—	—	0.06	18	0.79	—
全年	土壤 5 cm	46.24	0.082	$y = 46.24e^{0.082T}$	0.83**	33	0.00	2.27
	地表	55.30	0.077	$y = 55.30e^{0.077T}$	0.77**	33	0.00	2.16
	WFPS	—	—	—	-0.11	33	0.55	—

注：**表示 $p < 0.01$ ， $Q_{10} = e^{10b}$

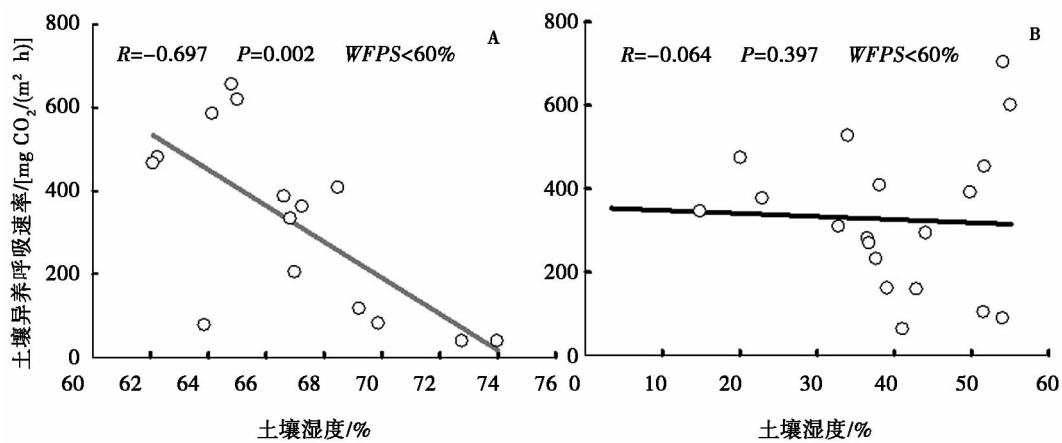


图 7 土壤湿度(WFPS)对土壤异养呼吸速率的影响
(a: WFPS > 60%; b: WFPS < 60%)

Fig. 7 Impact of soil moisture on soil heterotrophic respiration rate during the whole experiment period
(a and b indicated relationships between soil heterotrophic respiration rate and soil moisture when soil moisture were above 60% and below 60%, respectively)

在 25 ℃ 以上, 土壤异养呼吸速率对温度的响应相对迟缓。土壤湿度通过影响土壤中微生物活性进而影响土壤异养呼吸过程。Linn and Doran^[19] 研究认为土壤微生物的呼吸强度和土壤湿度密切相关, 其临界土壤湿度为 60%, 当土壤湿度大于临界湿度时, 土壤呼吸速率与土壤湿度具有极为显著的负相关关系, 主要因过高的土壤湿度反而减低了土壤中氧气的含量及土壤微生物的活性^[20], 这和本文的结论基本一致。

4 结论

紫色土旱坡地土壤异养呼吸速率日变化特征呈单峰型曲线, 其最大值和最小值分别出现在 16:00 和 08:00。土壤异养呼吸速率季节性变化显著, 夏季高, 冬季低。小麦和玉米季土壤异养呼吸速率平均值分别为 212.9 mg CO₂/(m²·h) 和 408.2 mg CO₂/(m²·h), 相应的 CO₂ 排放总量为 307.9 C/m² 和 384.8 gC/m²。小麦季土壤呼吸速率对温度变化较玉米季敏感, 其土壤异养呼吸敏感性参数 Q_{10} 值高于玉米季, 土壤湿度(WFPS) 高于 60%, 土壤湿度和土壤异养呼吸速率存在显著的负相关性($R = -0.550$, $P = 0.02$), 60% 以下无显著影响。

参考文献(References)

- [1] Li Zhongpei, Zhang Taolin, Chen Biyun. Dynamics of soluble organic carbon and its relation to mineralization of soil organic carbon [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(4): 544–552 [李忠佩, 张桃林, 陈碧云. 可溶性有机碳的含量动态及其与土壤有机碳矿化的关系[J]. *土壤学报*, 2004, 41(4): 544–552]
- [2] Chen Liangzhong, Xie Baoyuan, Xiao Wenfa, et al. Organic carbon storage in soil under the major forest vegetation types in the three Gorges Reservoir Area [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(5): 640–643 [陈亮中, 谢宝元, 肖文发, 等. 三峡库区主要森林植被类型土壤有机碳贮量研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2007, 16(5): 640–643]
- [3] Macfadyen A. Simple methods for measuring and maintaining the proportion of carbon dioxide in air for use in ecological studies of soil respiration [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1970, 2(2): 9–18
- [4] Kuzyakov Y, Cheng W. Photosynthesis controls of rhizosphere respiration and organic matter decomposition [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33: 1915–1925
- [5] Dixon R K, Brown S, Houghton R A. Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J]. *Science*, 1994, 263: 185–190
- [6] Wang Xiaoguo, Zhu Bo, Gao Meirong, et al. Soil CO₂ efflux and simulation of Forest – DNDC model in the mixed plantation of alder and cypress in hilly areas of the central Sichuan Basin [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(2): 28–32 [王小国, 朱波, 高美荣, 等. 川中丘陵区桉柏混交林地土壤 CO₂ 释放与 Forest – DNDC 模型模拟[J]. *北京林业大学学报*, 2008, 30(2): 28–32]
- [7] Han Guangxuan, Zhou Guangsheng, Xu Zhenzhu. Seasonal dynamics of soil respiration and carbon budget of maize farmland ecosystem [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(5): 874–879 [韩广轩, 周广胜, 许振柱. 玉米农田生态系统土壤呼吸作用季节动态与碳收支初步估算[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(5): 874–879]
- [8] Zhong Xianghao. Montology outline and mountain research in China [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2000. [钟祥浩. 山地学概论与中国山地研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2000.]
- [9] Li Z M. Purple soil in China (A) [M]. Beijing: Science Press, 1991. [李仲明. 中国紫色土(上篇) [M]. 北京: 科学出版社, 1991.]
- [10] Lu Rukun. Soil agro-chemical analysis methods [M]. Beijing: China Agrosience Press, 1999. [鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.]
- [11] Cai Yan, Ding Weixin, Cai Zuchong. Soil respiration in a maize-soil ecosystem and contribution of rhizosphere respiration. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4274–4278 [蔡艳, 丁维新, 蔡祖聪. 土壤-玉米系统中土壤呼吸强度及各组分贡献[J]. *生态学报*, 2006, 26(12): 4274–4278]
- [12] Jiang Changsheng, Wang Yuesi, Zheng Xunhua, et al. Effects of Tillage – Cropping Systems on Methane and Nitrous Oxide Emissions from Permanently Flooded Rice Fields in a Central Sichuan Hilly Area of Southwest China [J]. *Environmental Science*, 2006, 27(2): 207–213 [江长胜, 王跃思, 郑循华, 等. 耕作制度对川中丘陵区冬灌田 CH₄ 和 N₂O 排放的影响[J]. *环境科学*, 2006, 27(2): 207–213]
- [13] Ding W X, Cai Y, Cai Z C. Soil Respiration under Maize Crops: Effects of Water, Temperature, and Nitrogen Fertilization [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, 71: 944–951
- [14] Yuste J C, Janssens I A, Carrara A, et al. Annual Q(10) of soil respiration reflects plant phenological patterns as well as temperature sensitivity [J]. *Global Change Biology*, 2004, 10: 161–169
- [15] Xu M, Qi Y. Spatial and seasonal variations of Q_{10} determined by soil respiration measurements at a Sierra Nevada forest [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, 15: 687–696
- [16] Wang X G, Zhu B, Wang Y Q, et al. Soil respiration and its sensitivity to temperature under different land use conditions [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 1960–1968
- [17] Kirschbaum MUF. The temperature dependence of organic matter decomposition still a topic of debate [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38: 2510–2518
- [18] Chen H, Tian H Q. Does a general temperature-dependent Q_{10} model of soil respiration exist at biome and global scale [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2005, 47: 1288–1302
- [19] Linn D M, Doran J W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils

- [J]. Soil Science Society of America Journal ,1984 ,48: 1267 – 1272
- [20] Bowden R D ,Davidson E ,Savage K ,et al. Chronic nitrogen addi-

tions reduce total soil respiration and microbial respiration in temperate forest soils at the Harvard Forest [J]. Forest Ecology and Management ,2004 ,196: 43 – 56

Soil Heterotrophic Respiration Rate and Its Sensitivity to Temperature on Sloping Upland of Purple Soil

HUA Keke^{1 2 3} , WANG Xiaoguo^{1 2} , ZHU Bo^{1 2}

(1. Institute of Maintain Hazards and Environment , Chinese Academy of Science , Chengdu 610041 , China;

2. Key Laboratory of Mountain Surface Process and Ecological Regulation , Chinese Academy of Science , Chengdu 610041 , China;

3. College of Resources and Environment , University of Chinese Academy of Science , Beijing 100039 , China)

Abstractor: The research on soil heterotrophic respiration is greatly helpful to predict accurately the soil organic carbon balance of agriculture ecosystem. Experimental studies overwhelmingly focus on characters of soil respiration based on soil and plant system in agriculture ecosystem. However ,relatively little information has focus on soil heterotrophic respiration ,especially for sloping upland under traditional fertilizer practice. Hence ,We conducted a research to monitor soil heterotrophic respiration diurnal , seasonal changes with closed chamber-chromatographic technique and assessed the impacting factors of soil heterotrophic respiration rate on sloping upland of purple soil in Sichuan Basin at Yanting Agro-ecological Experimental Station of purple soil ,CAS. Results showed that the diurnal pattern of soil heterotrophic respiration exhibited single peak trend , with the minimum value occurring around 08:00 hours (local time) and the maximum value around 16:00 hours. Soil heterotrophic respiration rates were higher in summer than in winter. The maximum and minimum for the rate were $654.2 \text{ mg CO}_2 / (\text{m}^2 / \text{h})$ and $38.13 \text{ mg CO}_2 / (\text{m}^2 / \text{h})$ respectively , with the mean of $325.2 \text{ mg CO}_2 / (\text{m}^2 / \text{h})$. The average soil heterotrophic respiration rates during the maize season was higher than the wheat season following the values of $408.2 \text{ mg CO}_2 / (\text{m}^2 / \text{h})$ and $212.9 \text{ mg CO}_2 / (\text{m}^2 / \text{h})$ respectively. The cumulative CO_2 emissions from soil heterotrophic respiration were 307.9 gC/m^2 , 384.8 gC/m^2 for the wheat and maize growing seasons respectively. Furthermore ,the seasonal soil heterotrophic respiration rates were significantly affected by soil temperature. With the change in the rate of flux for each 10°C increase in temperature (Q_{10}) in wheat season were greater than in maize season , were 3.22 and 3.16 for soil 5 cm and 0 cm temperature in wheat season. In addition ,when soil moisture was above 60% , there was a significant negative correlation between soil moisture and soil heterotrophic rate. In contrast it was no longer had a significant impact on soil heterotrophic rate when soil moisture was above 60% . The results could provide a better understanding of soil organic carbon gaseous loss on sloping upland of purple soil.

Key words: soil heterotrophic respiration rate; soil temperature; soil moisture; sloping upland; purple soil