

哀牢山中山湿性常绿阔叶林与 人工茶园土壤呼吸的季节变化

武传胜^{1 2 3 4} 沙丽清^{1 2 4*} 高建梅^{1 2 3} 董丽媛^{1 2 3}

(1. 中国科学院西双版纳热带森林生态学重点实验室, 云南 勐腊 666303; 2. 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 云南 昆明 650223; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 云南哀牢山亚热带森林生态系统研究站, 云南 景东 676209)

摘要: 利用 Li-840 CO₂ 气体分析仪, 测定并分析了哀牢山中山湿性阔叶林和具有 30 a 历史的茶园的土壤呼吸季节变化特征。结果发现: 在干季, 土壤呼吸速率表现为茶园显著大于阔叶林, 而在湿季, 茶园略小于阔叶林, 从全年结果看茶园略大于阔叶林; 茶园的土壤温度和土壤含水量均显著大于阔叶林; 通过土壤温度和土壤水分的双因子模型, 得到土壤温度和土壤水分对茶园和阔叶林的土壤呼吸变化解释率分别为 49.6% 和 70.7%; 土壤呼吸的温度敏感性表现为茶园小于阔叶林; 茶园土壤有机质碳、氮量显著小于阔叶林, 而在土壤质量密度、pH、磷和钾含量方面, 则茶园显著大于阔叶林。

关键词: 土壤呼吸; 土地利用; 双因子模型; Q_{10} 值; 哀牢山

中图分类号: S718.5

文献标志码: A

文章编号: 1000-2006(2012)03-0064-05

Analysis of soil respiration in a montane evergreen broad-leaved forest and an artificial tea garden in Ailao Mountains, Yunnan province

WU Chuansheng^{1 2 3 4} SHA Liqing^{1 2 4*} GAO Jianmei^{1 2 3} DONG Liyuan^{1 2 3}

(1. Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China; 2. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Ailaoshan Station for Subtropical Forest Ecosystem Studies, Jingdong 676209, China)

Abstract: By studying on soil respiration and its influence factors in a montane evergreen broad-leaved forest and a 30-year-old tea garden in Ailao Mountains, Yunnan, SW China. We obtained the following results as: in dry season, soil respiration was significantly greater in tea garden than that in evergreen broad-leaved forest. However, soil respiration in tea garden was slightly less than in evergreen broad-leaved forest in wet season; The total data in 2010 showed that soil respiration was slightly higher in tea garden than in evergreen broad-leaved forest during the whole year, soil temperature and soil water content of the tea garden was significantly greater than those in evergreen broad-leaved forest. the two-factor model analysis of soil temperature and soil water, showed that soil temperature and soil water were responsible for 49.6% and 70.7% of soil respiration variation in tea garden and in forest, respectively. The temperature sensitivity of soil respiration in the forest was significantly higher than that in tea garden. Soil organic carbon and nitrogen were significantly higher in forest than those in the tea garden; however, soil bulk density, pH value, phosphorus and potassium in the broad-leaved forest were less than those in the tea garden.

Key words: soil respiration; land use; two-factor model; Q_{10} value; Ailao Mountain

收稿日期: 2011-02-17

修回日期: 2011-08-29

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2010CB833501); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q1-05-04)

第一作者: 武传胜, 硕士。* 通信作者: 沙丽清, 副研究员。E-mail: shalq@xtbg.ac.cn。

引文格式: 武传胜, 沙丽清, 高建梅, 等. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林与人工茶园土壤呼吸的季节变化[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2012, 36(3): 64-68.

森林生态系统在碳循环中发挥着极其重要的作用。Fang 等^[1]对中国 1949 年到 1998 年的森林生物量进行了统计,发现其变化是土地利用的变化引起的。土壤是陆地生态系统中最大的有机碳库,达 1 500 Gt,是大气碳储量的 2 倍,是植被碳储存量的 3 倍^[2-4],因此土地利用方式改变会带来土壤呼吸的巨大改变,而土壤呼吸极小的变化,都会对全球的碳平衡起到极大的影响^[5],所以必须加强土地利用变化下的土壤呼吸的研究。土地利用方式发生改变将影响土壤碳库和碳通量^[4],从而影响土壤有机碳储量^[6],人为干扰导致土壤孔隙度降低而质量密度增加^[7],从而影响地下生物量和生物的活动以及土壤碳的排放过程。笔者通过对哀牢山中山湿性常绿阔叶林与邻近的具有 30 a 种植历史的茶园进行相关研究,探讨中山湿性常绿阔叶林自然生态系统变为人为干扰的生态系统后土壤理化性质及土壤呼吸的变化,为亚热带森林碳排放提供基础数据,从而对了解土地利用变化对全球变暖的影响提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 样地概况

研究样地位于中国科学院哀牢山森林生态系统定位站(哀牢山北段国家级自然保护区核心区的徐家坝地区,101°01′ E, 24°32′ N),该地区年均气温 11.0℃,年降水量 1 947 mm,干季(12 月至翌年 4 月)、湿季(5—11 月)分明,85% 以上的降水集中在湿季。地表几乎为植被凋落物所覆盖,厚度一般 3~7 cm;土壤腐殖质成棕黑色,厚达 10~15 cm;矿质土层质地疏松,以团粒结构为主。表土层透水性良好,涵养水的能力很强;有机质含量较高,含氮量丰富;C/N 适中,土壤呈酸性(pH<5);阳离子交换量较高,高于水平地带的黄棕壤。优势树种主要有景东石栎(*Lithocarpus chintungensis*)、云南越桔(*Vaccinium duclouxii*)、滇木荷(*Schima noron-hae*)等,林下主要以箭竹(*Sinarundinaria nitida*)为主^[8]。站区内有 1 块 30 a 历史的茶园,茶树品种为台湾乌龙茶,株高 1 m 左右,株距 20~40 cm,行间距 60 cm 左右,每年 1 月份人工施肥 1 次。选取茶园和其附近的一片中山湿性常绿阔叶林(简称阔叶林)作为研究样地,茶园和阔叶林的坡度(25°)和坡向(西)相同。茶园和阔叶林的 2010 年气象资料见图 1,茶园气温采用哀牢山生态站林外观测场数据,阔叶林气温采用林内观测场数据。

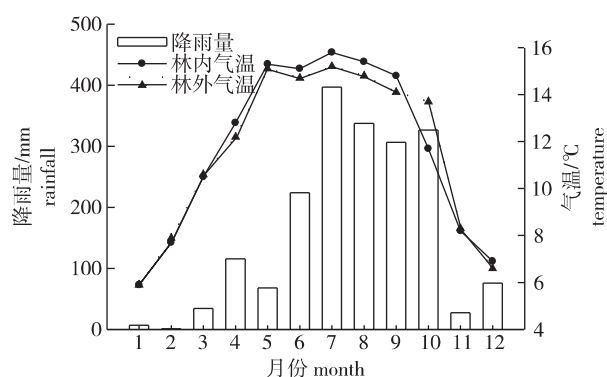


图1 研究样地降雨量与林内外气温

Fig. 1 The rainfall and air temperature inside and outside of forest in Ailao Mountains

1.2 实验设计

茶园样点选择在哀牢山生态站茶叶人工林站区观测点内,随机选择 5 个 2 m × 2 m 的小样方,考虑到行间距不大,为了能更好地代表整个人工茶园生态系统,在每个样方内的行间和株间各放置 1 个外直径为 200 mm 的 PVC 管直接(与自制的外直径 200 mm 的 PVC 管呼吸箱相配套),深入土体 5 cm 左右使内部接口处与土表齐平,以供测量土壤呼吸时使用。同样在阔叶林内部从低到高随机选择 5 个 2 m × 2 m 的小样方并放置 PVC 管直接,两个样地内每两个临近点的距离都大于 4 m。

采用 Li-840(Li-Cor, Lincoln, NE, USA) 气体分析仪测定土壤呼吸速率(R_s),同时在呼吸箱周围 5 cm 处取 5 个点,分别用 6310 针式温度计和 TDR(Time Domain Reflectometer) 测量地下 5 cm 和 0~5 cm 处土壤温度(T_s)和土壤含水量(W_s)。取 5 个点的均值作为该点的土壤温度和土壤含水量,并且用 6310 针式温度计和气压计记录当时的气温(T_a)和气压(P)以供土壤呼吸速率计算时使用。测定频率为每 10 d 1 次。用 SPSS 18.0 进行指数回归和相关性分析,并采用独立样本 T 检验进行差异性检验;用 Sigmaplot 11.0 程序进行作图等。

土壤呼吸速率按照下面公式进行计算:

$$R_s = \frac{V \cdot P}{R \cdot S \cdot T} \cdot \frac{dc}{dt} \quad (1)$$

式中: V 为呼吸箱体积, m^3 ; S 为呼吸箱底面积, m^2 ; R 为气体常数(8.314 Pa/($m^3 \cdot K \cdot mol$)); T 为呼吸箱内空气温度, K ; P 为呼吸箱内气压, Pa ; dc/dt 为观测时间内呼吸箱内 CO_2 浓度随时间的变化率。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质

通过对茶园和阔叶林的土壤(0~10 cm)质量密度、pH、有机C、全N、全P和全K进行测定,结

果显示茶园的土壤质量密度显著高于阔叶林,高出68.18%,这与人为踩踏有关;土壤pH也显著高出28.65%,但两者均表现为酸性;土壤C和N分别显著降低了48.35%和44.64%,而土壤P和K含量却显著高出75.00%和25.39%(表1)。

表1 土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties

样地 sample plots	密度/(g·cm ⁻³) bulk density	pH	养分含量/(g·kg ⁻¹) nutrient contents			
			C	N	P	K
茶园	0.74 ± 0.03	4.94 ± 0.05	81.36 ± 2.68	5.53 ± 0.16	1.75 ± 0.07	15.26 ± 0.32
阔叶林	0.44 ± 0.01	3.84 ± 0.05	157.53 ± 8.82	9.99 ± 0.70	1.00 ± 0.05	12.17 ± 0.64

注:表中茶园与阔叶林间差异均达显著水平($p < 0.05$),表中数据为均值 ± 标准误。

2.2 土壤呼吸、土壤温度和土壤含水量季节动态

茶园和阔叶林的土壤呼吸季节动态趋势基本一致,2月呼吸速率最低,随后一直上升,在湿季上升幅度增大,阔叶林内的这种变化更为明显,到8月呼吸速率达到最大,而后开始降低,构成了典型的单峰曲线(图2A)。在干季(哀牢山干季雨季划分是根据多年降雨数据来确定的,每年的5—11月

降雨量大,划分为湿季,12—4月划分为干季,由于2010年初云南大旱,6月底才进入雨季,因此文中的干季包括了5月和6月)茶园的土壤呼吸速率显著($p < 0.05$)高于阔叶林的土壤呼吸速率,而在湿季阔叶林的呼吸速率却略高于茶园内,未达到显著水平($p > 0.05$),从全年数据看茶园内的呼吸速率略高于阔叶林,二者差异未达到显著水平($p > 0.05$)。

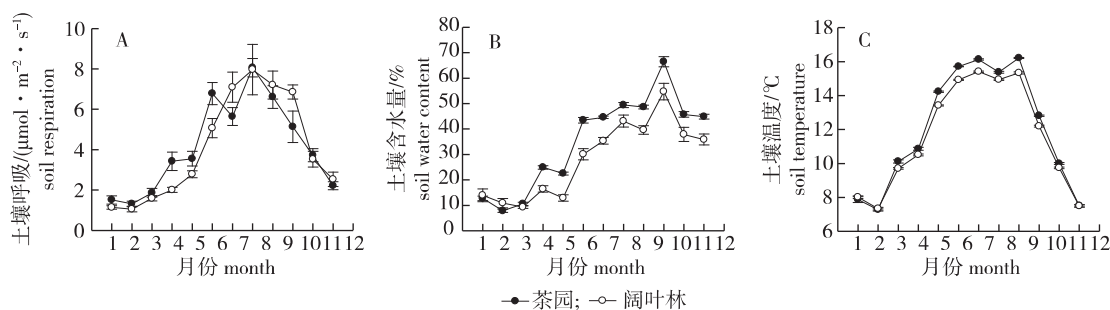


图2 土壤呼吸、土壤温度和土壤含水量的季节动态

Fig. 2 The seasonal variation of soil respiration, soil temperature and soil water content in tea garden and broad-leaved forest in Ailao Mountains

土壤温度与土壤呼吸的季节动态基本一致,相关性分析都达到极显著水平($p < 0.01$),与土壤呼吸不同的是土壤温度在8月有短暂的降低趋势,9月升到全年最高,随后急剧下降。在冬季茶园土温与阔叶林土温基本相同,在其他季节茶园土壤温度高于阔叶林土壤温度(图2B)。从全年角度考虑,茶园土壤温度(12.0 ± 0.2) °C极显著($p < 0.01$)高于阔叶林土壤温度(11.6 ± 0.1) °C。

土壤含水量2月份最低,2010年3、4月份因人工降雨使得土壤含水量略有增加,其中4月份降雨量为115.5 mm,因而土壤含水量在4月份有个短暂的高峰,从6月底进入湿季,土壤含水量逐渐增大,到10月达最大值,土壤含水量季节动态与土壤呼吸季节动态略有不同,但相关性极显著

($p < 0.01$)。除了2月份,茶园土壤含水量均高于阔叶林内土壤含水量(图2C)。综合全年数据茶园土壤含水量($35.1\% \pm 1.9\%$)极显著($p < 0.01$),高于阔叶林土壤含水量($28.3\% \pm 3.7\%$)。

2.3 土壤呼吸与土壤温度、土壤含水量的关系

茶园土壤呼吸与土壤温度间存在极显著($p < 0.01$)的指数关系,与土壤含水量间存在极显著($p < 0.01$)的二项式关系,分别解释了土壤呼吸季节变化的44.6%和31.1%;阔叶林内土壤呼吸与土壤温度和土壤含水量间均存在极显著($p < 0.01$)的指数关系,分别解释了土壤呼吸季节变化的53.4%和56.0%。利用 $R_s = ae^{bT_s} \cdot W_s$ 双因子模型^[9]对土壤呼吸与土壤温度、土壤含水量进行拟合,模型均达到极显著水平($p < 0.01$),双

因子模型解释了茶园土壤呼吸变化的 49.6 % ,而对阔叶林土壤呼吸变化的解释高达 70.7 % (图 3) ,双因子模型中参数 b 和 c 分别是温度和水分敏感系数 ,均表现为阔叶林的比茶园的大。以上说明

阔叶林土壤呼吸的变化主要受土壤温度和土壤含水量的影响 ,而茶园为人工干扰生态系统 ,土壤呼吸对土壤温度和土壤水分的依赖性低 ,可能更受人为等其他干扰因子的影响。

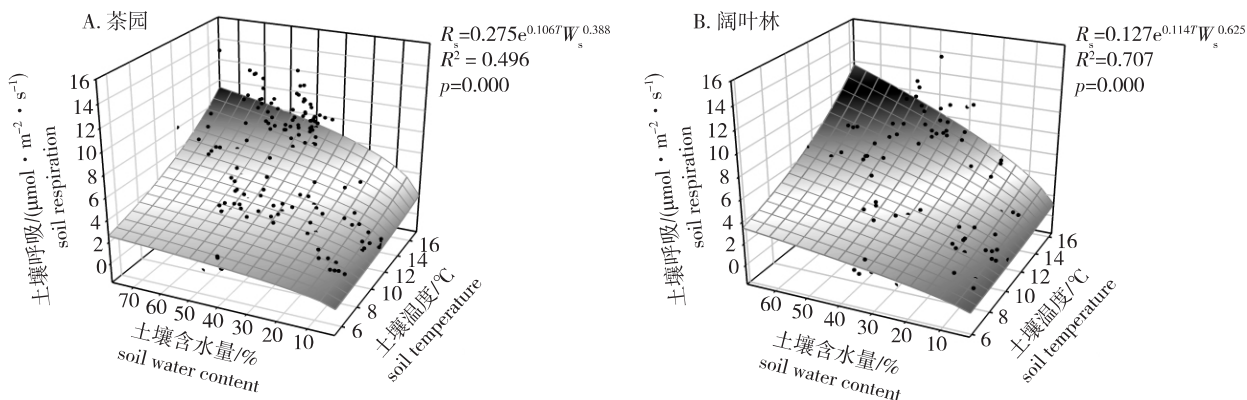


图3 土壤呼吸与土壤温度和土壤含水量的双因子模型

Fig. 3 The double factors model of soil temperature and soil water content with soil respiration

2.4 土壤呼吸温度敏感性

利用 $R_s = ae^{bT_s}$ 和 $Q_{10} = e^{10b}$ 模型 ,对土壤呼吸与土壤温度进行拟合 ,从而算出土壤呼吸的温度敏感性指标 Q_{10} 。拟合计算得到茶园干季和湿季的 Q_{10} 分别为 2.64 和 2.44 ,阔叶林干季和湿季的 Q_{10} 分别为 2.53 和 2.50; 对全年数据进行拟合 ,得到茶园和阔叶林 Q_{10} 分别为 4.27 和 6.24。可以看出茶园和阔叶林干季的 Q_{10} 均高于湿季 ,从全年角度考虑 ,阔叶林的 Q_{10} 大于茶园。

3 讨论

(1) 哀牢山中山湿性常绿阔叶林土壤呼吸季节动态呈单峰曲线 ,结果与冯文婷等^[9] 研究相同。在干季 ,茶园土壤呼吸速率显著高于阔叶林 ,这与茶园的土壤温度和土壤水分适宜有很大关系 ,研究表明土壤温度^[10-11] 和土壤水分^[12] 是影响土壤呼吸的重要因子。而在湿季阔叶林的呼吸速率略高于茶园内 ,这与阔叶林内植被、凋落物分解和根呼吸有关 ,已有研究表明植物的光合作用也对土壤呼吸有推动作用^[13] ,而叶等凋落物的增加能显著增加土壤微生物呼吸、土壤微生物量以及 N 的周转^[14]。茶园土壤呼吸速率年均值略高于阔叶林 ,这与刘惠等^[15] 发现果园土壤呼吸速率年均值显著大于针叶林有相同的趋势。然而由于每年 1 月份的人工施肥 ,茶园土壤磷、钾含量显著高于阔叶林 ,加上土壤温湿度等环境因子适宜 ,使得土壤呼吸速率年均值略高于阔叶林 ,但是由于土壤有机质含量

显著低于阔叶林 ,所以茶园土壤呼吸未能显著高于阔叶林。

(2) 茶园和阔叶林土壤呼吸与土壤温度呈显著的指数关系 ,阔叶林土壤呼吸与土壤水分呈显著指数关系 ,而茶园的土壤呼吸却与土壤水分呈显著的二次项关系 ,在土壤含水量超过 55 % 以后土壤呼吸速率开始降低 ,研究发现水分含量充足时如果继续增加水分会对土壤呼吸产生抑制^[16]。此次实验中 ,双因子模型结果解释了茶园土壤呼吸变化的 49.6 % ,而对阔叶林土壤呼吸变化的解释高达 70.7 % ,这与同样采用双因子模型发现土壤温度和土壤水分共同解释不同森林和不同土地利用方式土壤呼吸季节变化的 64 % ~ 90 % 和 80 % ~ 96 % 结果相似^[17-18]。

(3) 此次实验结果表明 ,干季土壤温度敏感性大于湿季 ,这与冯文婷等^[9] 在哀牢山的研究结果相同。茶园与阔叶林年 Q_{10} 在数值上大于全球平均值 2.0^[19] ,这是因为土壤温度敏感性具体时间和空间异质性 ,其中高纬度、高海拔地区的 Q_{10} 大于低纬度、低海拔地区的 Q_{10} ^[20-21] ,即温度高的地区 Q_{10} 小于温度低的地区。从全年看 ,此次研究中阔叶林的 Q_{10} 值大于人工茶园 ,张增信等^[22] 发现次生林大于人工林 ,与此次研究结果相同 ,而刘惠等^[15] 的研究结果相反。Janssens 等^[23-24] 认为 Q_{10} 值不只是对温度敏感性的一种量度 ,而是对温度、根生物量和活性、水分条件和其他因子响应的综合结果 ,并受植被类型的影响 ,因此该研究中阔叶林

的 Q_{10} 大于茶园的 Q_{10} 可能与植被(包括根和凋落物的影响)、土壤有机质和土壤温度的不同有关, 还需进一步研究。

参考文献:

- [1] Fang J, Chen A, Peng C, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. Science, 2001, 292(5525): 2320–2322.
- [2] Schlesinger W H. Biogeochemistry: An analysis of global change [M]. San Diego, California, USA: Academic Press, 1997.
- [3] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J]. Science, 1994, 263(5144): 185–190.
- [4] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security [J]. Science, 2004, 304(5677): 1623–1627.
- [5] Friedlingstein P, Cox P, Betts R, et al. Climate-carbon cycle feedback analysis: Results from the (CMIP) M4 model inter-comparison [J]. Journal of Climate, 2006, 19(14): 3337–3353.
- [6] 周涛, 史培军, 王绍强. 气候变化及人类活动对中国土壤有机碳储量的影响 [J]. 地理学报, 2003, 58(5): 727–734.
- [7] Islam K R, Weil R R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2000, 79(1): 9–16.
- [8] 吴征镒. 云南哀牢山森林生态系统研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 1983.
- [9] 冯文婷, 邹晓明, 沙丽清, 等. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林土壤呼吸季节和昼夜变化特征及影响因子比较 [J]. 植物生态学报, 2008, 32(1): 31–39.
- [10] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change [J]. Nature, 2006, 440(7081): 165–173.
- [11] Liang N, Nakadai T, Hirano T, et al. In situ comparison of four approaches to estimating soil CO₂ efflux in a northern larch (*Larix kaempferi* Sarg.) forest [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2004, 123(1–2): 97–117.
- [12] Xu L K, Baldocchi D D, Tang J W. How soil moisture, rain pulses, and growth alter the response of ecosystem respiration to temperature [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2004, 18(4): 1–4.
- [13] Tang J W, Baldocchi D D, Xu L K. Tree photosynthesis modulates soil respiration on a diurnal time scale [J]. Global Change Biology, 2005, 11(8): 1298–1304.
- [14] Aggangan R T, O'Connell A M, McGrath J F, et al. The effects of *Eucalyptus globulus* Labill. leaf litter on C and N mineralization in soils from pasture and native forest [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31(11): 1481–1487.
- [15] 刘惠, 赵平, 林永标, 等. 华南丘陵区不同土地利用方式下土壤呼吸 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2021–2027.
- [16] 蒋延玲, 周广胜, 赵敏, 等. 长白山阔叶红松林生态系统土壤呼吸作用研究 [J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 411–414.
- [17] 杨玉盛, 陈光水, 王小国, 等. 中国亚热带森林转换对土壤呼吸动态及通量的影响 [J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1684–1690.
- [18] 王小国, 朱波, 王艳强, 等. 不同土地利用方式下土壤呼吸及其温度敏感性 [J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1960–1968.
- [19] Trumbore S E, Harden J W. Accumulation and turnover of carbon in organic and mineral soils of the BOREAS northern study area [J]. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 1997, 102(D24): 28817–28830.
- [20] Bekku Y S, Nakatsubo T, Kume A, et al. Effect of warming on the temperature dependence of soil, respiration rate in arctic, temperate and tropical soils [J]. Applied Soil Ecology, 2003, 22(3): 205–210.
- [21] Lipson D A. Relationships between temperature responses and bacterial community structure along seasonal and altitudinal gradients [J]. Fems Microbiology Ecology, 2007, 59(2): 418–427.
- [22] 张增信, 施政, 何容, 等. 北亚热带次生栎林和人工松林土壤呼吸日变化 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(1): 19–23.
- [23] Janssens I A, Dore S, Epron D, et al. Climatic influences on seasonal and spatial differences in soil CO₂ efflux, in fluxes of carbon, water and energy of European forests [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2003.
- [24] Curiel Yuste J, 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(2): 161–169.

(责任编辑 王国栋)