

哀牢山亚热带常绿阔叶林内外地温分布特征^{*}

余 雷^{1,3} 张一平^{1,2,*} 沙丽清^{1,2} 谭正洪¹ 宋清海^{1,3} 周文君^{1,3} 武传胜²

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

摘 要 地温是森林气候重要的环境因素之一,与植物生长密切相关,对地温的深入研究有助于揭示森林生态系统功能和评估森林环境效益。本文利用哀牢山亚热带常绿阔叶林林内和林外旷地(气象站)地温数据,分析发现:哀牢山亚热带常绿阔叶林林内外的地温均呈单峰型日变化,与林外相比,林内地温具有明显日变化的深度较浅(仅在 20 cm 深度以上);林内平均地温具有显著日变化的深度在春季和秋季(20 cm)要大于夏季和冬季(15 cm);与林外相比,林内各层地温均小于同层的林外地温,并且林内地温的日变幅和年变幅也小于同深度的林外地温。总体来看,林外地温的年变幅和日变幅大于林内。

关键词 地温; 亚热带常绿阔叶林; 哀牢山

中图分类号 S716 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)7-1633-06

Distribution characteristics of soil temperature within and outside a subtropical evergreen broadleaved forest in Ailao Mountains, Yunnan Province of Southwest China. YU Lei^{1,3}, ZHANG Yi-ping^{1,2,*}, SHA Li-qing^{1,2}, TAN Zheng-hong¹, SONG Qing-hai^{1,3}, ZHOU Wen-jun^{1,3}, WU Chuan-sheng² (¹Key Laboratory of Tropical Forest Ecology (Xishuangbanna Tropical Botanical Garden), Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; ²Ailaoshan Station for Subtropical Forest Ecosystem Studies, Chinese Academy of Sciences, Jingdong 676209, Yunnan, China; ³Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(7): 1633–1638.

Abstract: Soil temperature is an important environmental factor of forest climate, which closely relates to plant growth. To deeply understand the variations of soil temperature in forest is beneficial to reveal the functions of forest ecosystem and to assess the environmental benefit of forest. Our analysis on the observation data of soil temperature within a subtropical evergreen broadleaved forest and in an open area nearby in the Ailao Mountains showed that the diurnal variations of soil temperature within and outside the forest presented a single-peak curve. Compared with that in nearby open area, the diurnal variation of soil temperature in the forest was presented in shallower depths (less than 20 cm). The depth of the diurnal variation of soil temperature in the forest was deeper in spring and autumn (20 cm) than in summer and winter (15 cm). The soil temperature in the forest was lower than that in the open area at each depth, and the diurnal and annual variations of soil temperature in the forest were smaller than those in the open area. Overall, both the diurnal and the annual variation ranges of soil temperature were larger outside the forest than within the forest.

Key words: soil temperature; subtropical evergreen broadleaved forest; Ailao Mountains.

森林是陆地生态系统的主要组成部分,在全球碳循环中起着极其重要的作用,而森林生态系统的

生产、呼吸等生态过程都受到温度的制约(王森等, 2003)。对森林温度特征的研究,是揭示森林生态系统功能和评估森林对环境综合效益的基础(吴家兵等, 2002; 杜颖等, 2007)。早在 20 世纪初, Geiger (1965) 就做了欧洲赤松林气温日变化的研究, 随之, Stathers 等 (1985)、Fuchs (1990)、Otterman 等

^{*} 国家重点基础研究发展计划(2010CB833501)、国家自然科学基金项目(31061140359)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q1-05-04)资助。

^{**} 通讯作者 E-mail: yipingzh@xtbg.ac.cn

收稿日期: 2012-02-08 接受日期: 2012-03-11

(1992) 也作了大量的相关工作,对森林温度特征的认识逐步深化。有研究表明,地温是影响土壤呼吸的最主要因子(Moore & Knowles,1989; Moore & Dalva,1993; Kirschbaum,1995),而土壤呼吸是陆地生态系统碳循环的一个重要组成部分。因此研究森林的地温特征,对深入研究森林的土壤呼吸和碳循环过程均具有重要意义(沙丽清等,2004; 冯文婷等,2008)。

哀牢山亚热带常绿阔叶林作为我国保存面积最大的常绿阔叶林,是该地区重要的森林植被类型之一,刘玉洪(1993)的研究表明哀牢山的山地地温资源较气温资源丰富,对喜温农作物和森林植被在山地抬升有利,但是仅仅分析了0~20 cm深度的地温。本文应用ChinaFlux在哀牢山生态站的通量观测塔和林外旷地常规气象观测站地下0~100 cm的地温数据,通过研究不同观测深度土壤温度的时间变化,为正确评估哀牢山亚热带常绿阔叶林的碳收支提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概括

研究样地位于哀牢山北段国家级自然保护区试验区的徐家坝地区,中国科学院哀牢山亚热带森林生态系统研究站(24°32'N,101°01'E,海拔2400~2600 m)。该地区年均温为11.0℃,月均最高温为15.8℃,月均最低温为4.5℃;受西南季风影响,干、湿季分明,年降水量1947 mm,85%以上的降水集中在雨季(5—10月)。以木果石栎(*Lithocarpus xylocarpus*)为标志的亚热带中山湿性常绿阔叶林是徐家坝地区分布面积最大、保存最完好的原生植被,系130年以上的成熟林(邱学忠,1998)。

哀牢山林内土壤为山地黄棕壤,其特征为: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。有机质含量较高,含氮量丰富;C/N比适中,土壤呈酸性(pH<5);表土层透水性良好,涵养水的能力很强;阳离子交换量较高,高于水平地带的黄棕壤。0~30 cm土层土壤偏酸性(pH=4.2),有机质含量为5%~9%,氮(N,0.35%)、磷(P,0.07%)、钾(K,0.37%)的含量在哀牢山山地垂直分布中属于含量较高的一个地带(游承侠,1983)。

1.2 研究方法

林内地温是利用ChinaFlux设置在哀牢山亚热带常绿阔叶林通量观测塔2009—2010年的地温观测数据,在0、5、10、15、20、40、60、100 cm中设置的温度传感器为107. L(Campbell Scientific,USA)。数据为自动记录的30 min数据。通过分析各层地温的日变化、季节变化和年际变化以及地温垂直变化来探讨地温的时空分布特征。

林外地温是利用林外旷地上的常规气象观测站2009—2010年的0、5、10、15、20、40、60、100 cm的地温数据,数据为自动记录的60 min数据。

1.3 数据处理

季节划分为,春季:3—5月;夏季:6—8月;秋季:9—11月;冬季:12月—翌年2月。差值是指同一深度、同一时刻的林外地温减去林内地温。用SPSS 18.0做统计分析、线性回归、相关性分析等, SigmaPlot 11.0作图。

2 结果与分析

2.1 地温时空分布特征

图1a显示了林内40 cm以上各层平均地温的日变化。各层地温均呈现近似单峰变化,愈靠近地表这个变化趋势愈明显,地温的最低值和最高值出现时刻随深度增加呈现滞后现象,显示了不同深度地温日变化的相位存在明显差异,但是随着深度的增加,其变幅急剧减小,20 cm深度地温的变化趋势已经很小,到40 cm深度时变幅已趋于0。图1b是林外60 cm深度以上平均地温的日变化,其各层地温日变化的幅度大于林内,具有明显日变化的深度较林内的深;5 cm地温的日变幅林外为9.5℃,林内为0.4℃。图1c是林外地温减去林内地温所得的差值图,各层地温的差值也呈现单峰变化,并且随着深度的增加,其变幅减小,到40 cm深度时,变幅已基本消失。

进一步分析林内和林外不同季节的日变化(图2,图3),对于林内地温,春季和秋季的日变幅较深,达到20 cm,而夏季和冬季的日变幅只有15 cm;秋季和冬季,随着深度的增加,地温逐渐升高,其日变化的幅度逐步减小,而春季和夏季,随着深度的增加,地温逐渐降低。对于林外地温,各季节日变幅较大(5 cm为例):春季为13.3℃,夏季为6.8℃,秋

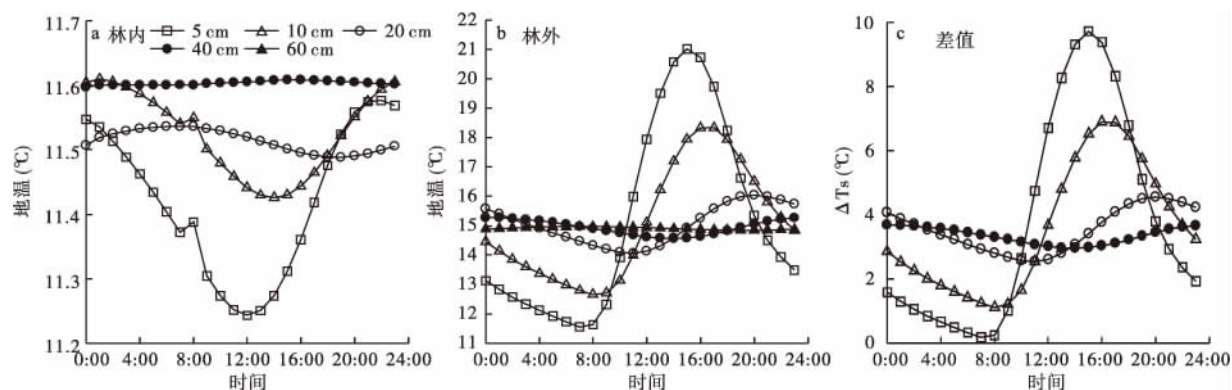


图1 平均地温日变化

Fig.1 Diurnal variations of soil temperature

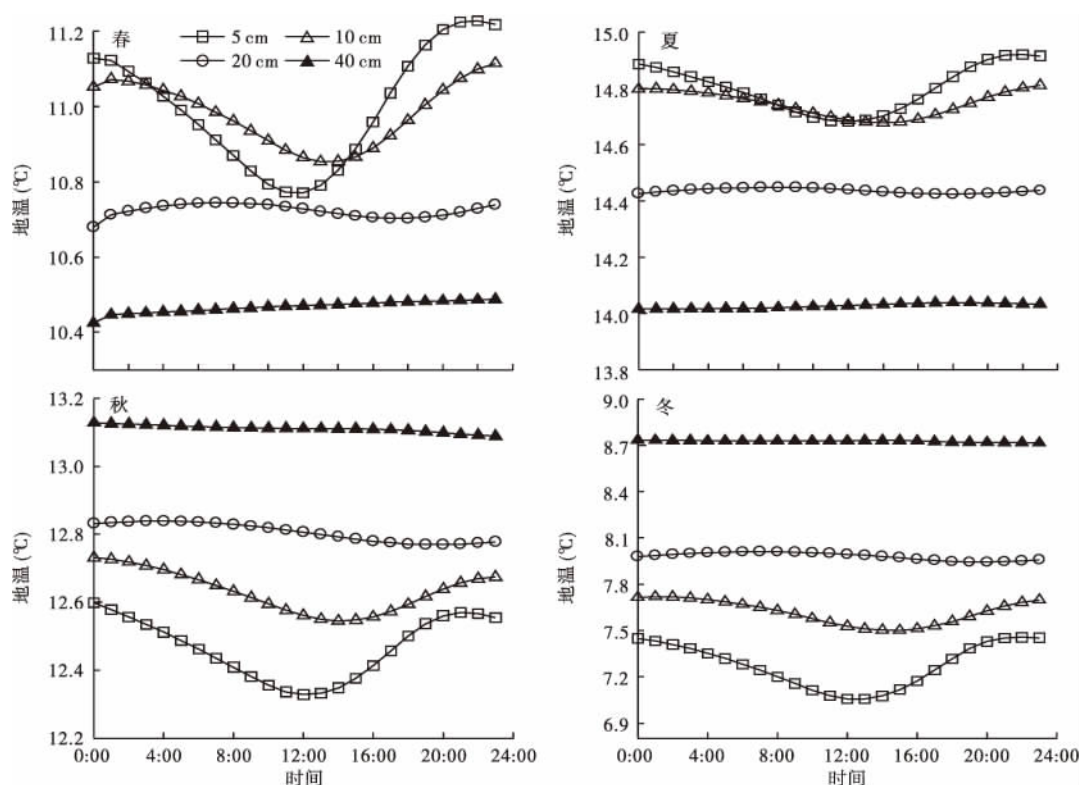


图2 林内各季节平均地温日变化

Fig.2 Diurnal variation of seasonal soil temperature in the forest

季为 6.3°C , 冬季为 11.8°C , 并且其日变幅的深度可达到 40 cm。

2.2 不同季节地温变化特征

由图 4 可见, 林内和林外均是冬季不同深度的地温最低, 并呈现随深度增加, 地温升高的垂直变化特征; 林内春季各深度的平均地温值高于冬季, 但低于夏季和秋季, 其垂直变化不大, 呈现随深度增加略有降低的趋势; 在夏季, 林内地温在深度 100 cm 以下, 其平均地温为最高, 而林外地温在各层均最高,

且林内和林外的地温均呈现随深度增加而降低的垂直变化特征, 并且其变率较明显; 到了秋季, 林内 100 cm 平均地温最高, 垂直变化表现为, 随着深度的增加地温逐渐升高。

综合年平均地温的垂直变化(图 5), 对于年平均地温, 总体上呈现随深度增加地温升高的趋势, 但林内昼间的平均地温在 15 cm 以上, 随深度增加地温降低, 并且 0 cm 的昼间地温明显高于 0 cm 的夜间地温。对于林外年平均地温, 10 cm 深度及其以

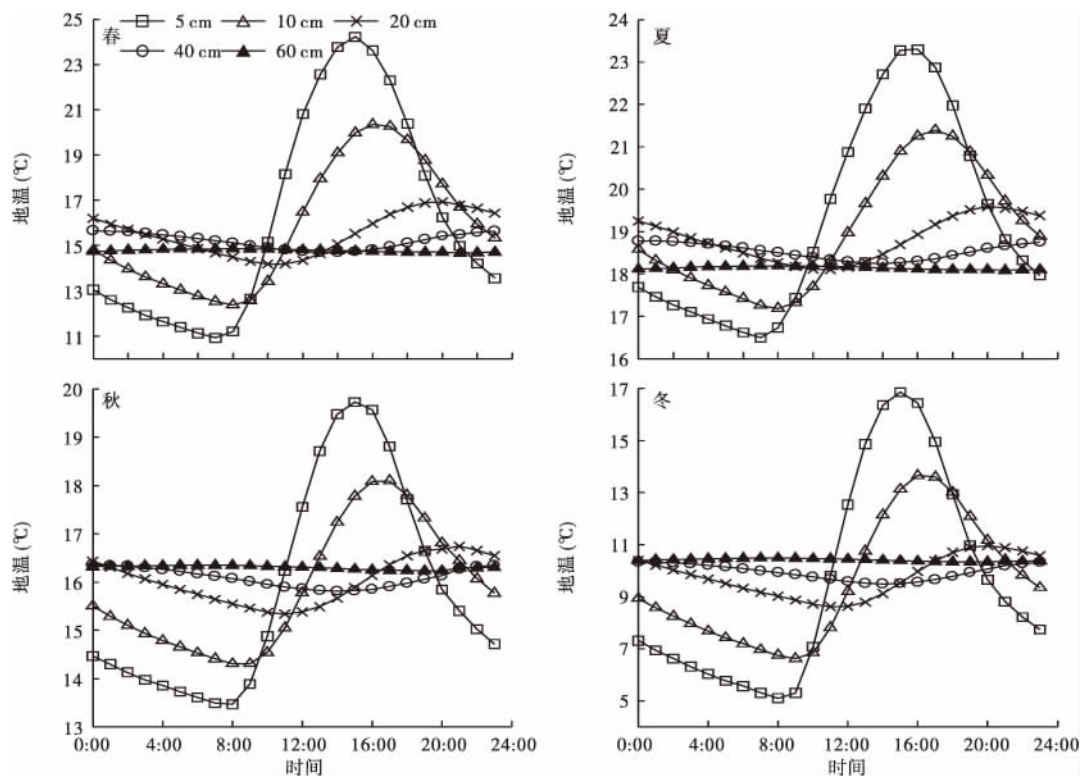


图3 林外各季节平均地温日变化

Fig. 3 Diurnal variation of seasonal soil temperature out the forest

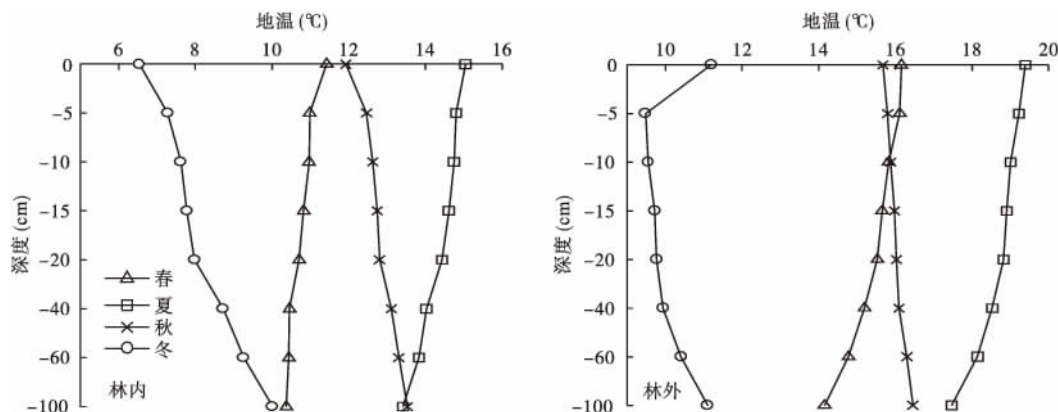


图4 各季节平均地温垂直变化

Fig. 4 Vertical variations of average soil temperature in each season

上,昼间地温高于夜间地温,并且其昼夜间变化幅度要大于林内地温的昼夜温差。另外,图5同样显示了地温的昼夜差异,仅在20 cm以下差异不明显。

2.3 平均地温的年变化特征

由图6可见,林内和林外不同深度的地温年变化趋势相似,均呈现单峰分布。林内100 cm深度的地温最低值出现在2月,其他深度的地温最低值均在1月;0 cm地温最高值出现在7月,其他深度的

地温最高值出现在8月,其5 cm地温的年变幅为8.6℃。林外的各层地温最低值均出现在1月,0 cm的地温最高值在7月,其他深度的地温最高值均在8月,5 cm地温的年变幅为11.2℃。并且林内和林外年平均地温,总体上均呈现随深度增加地温变幅减小的趋势。利用林内外的地温计算得到线性回归方程: $y = 1.3025x$, $R^2 = 0.912$, $P < 0.01$,其中, y 为林外地温, x 为林内地温。

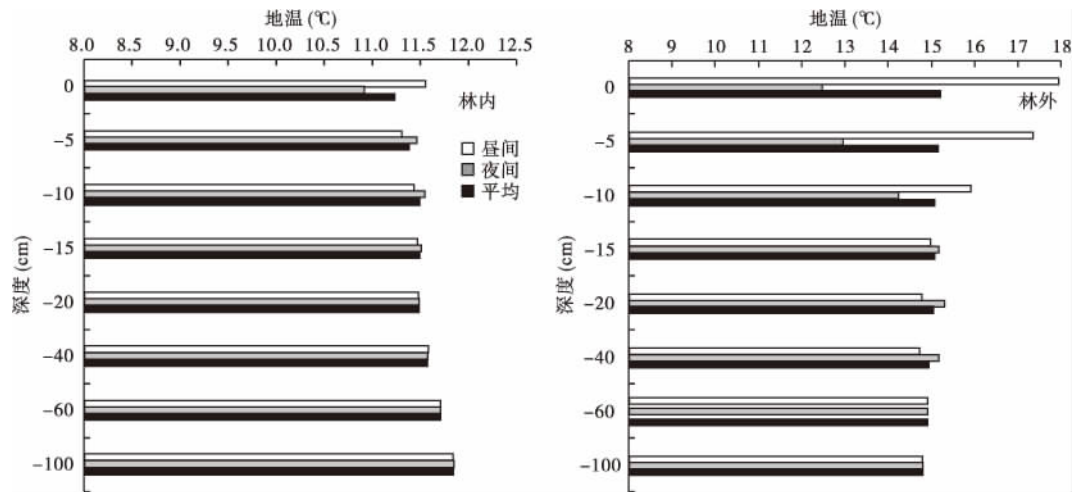


图5 平均地温垂直分布
Fig.5 Vertical distribution of average soil temperature

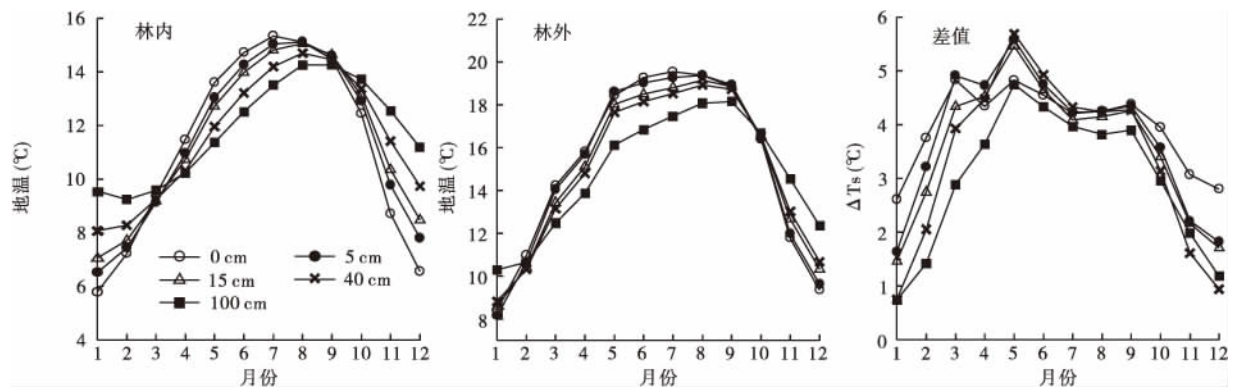


图6 平均地温年变化
Fig.6 Annual variation of average soil temperature

3 讨论

土壤是由大小不同的固相颗粒按不同比例组合而成的,土壤对水分和热量均具有吸收作用。哀牢山亚热带常绿阔叶林内太阳辐射一方面被各层植被反射和吸收,另一方面,土壤对太阳辐射也有削弱作用,土壤深度越深削弱作用越明显,因而土壤的最高温一般出现在表层土壤,并且表层土壤由于受太阳辐射以及昼夜气温交替影响较大,地温仅在 20 cm 深度以上呈现出明显的日变化特征(图 1),从表 1 可以看出,哀牢山亚热带常绿阔叶林林内 20 cm 深度的地温日变幅为 0℃,明显低于同深度的西双版纳季节雨林(0.8℃)、长白山阔叶红松林(1℃)和天山雪岭云杉林(2℃)(吴家兵等,2002;高举明等,2008;马鸿儒等,2010),日变幅的深度较浅。而深层土壤受到外界环境的影响较小,使得深层地温的昼夜变化较小,接近恒值(图 1),这与其他地区的

研究结果基本一致(Lloyd & Taylor,1994; 吴家兵等, 2002)。刘玉洪(1991) 做过哀牢山地温的研究,本文与其比较分析,见表 2。

表 1 不同地区的地温日变幅
Table 1 Diurnal amplitude of soil temperature at different areas

地点	林型	5 cm 深度日变幅(℃)	20 cm 深度日变幅(℃)
哀牢山	常绿阔叶林	0.4	0
西双版纳	季节雨林	0.8	0.4
长白山	阔叶红松林	1	0.4
天山	雪岭云杉林	2	0.2

表 2 与刘玉洪的研究比较
Table 2 Compared with Liu Yu-hong's study

观测方法	观测频率	地温深度 (cm)	日变化深度 (cm)	5 cm 年变幅 (℃)	备注
自动记录	30 min 1 次	100	林内 20	林内 8.6	本文
			林外 40	林外 11.2	
人工观测	1 天 3 次	80	林内 20	林内 9.5	刘玉洪,1991
			林外 40	林外 12.5	

哀牢山亚热带常绿阔叶林林内各个季节地温的垂直变化存在较大差异(图4),秋季和冬季随深度增加地温升高,显示了土壤作为热源,热量从深层传递到表层;而春季和夏季恰恰相反,随深度增加地温呈现降低趋势,表明土壤作为热汇,热量从表层向深层传递。Keith等(1997)在堪培拉西部50 km处雪松林的研究发现,10 cm处的地温在1年内的绝大部分时间均低于0 cm处的地温,特别在夏季差异显著。本研究表明,哀牢山亚热带常绿阔叶林林内不同深度的地温年变化趋势相似,均呈现单峰分布,100 cm深度的地温最低值出现在2月,其他深度的地温最低值均在1月;40和100 cm的地温最高值出现在8月,其他深度的地温最高值出现在7月。这与Tang等(2005)在加利福尼亚州橡树-草热带稀树草原生态系统内的研究结果相似,与高举明等(2008)在西双版纳热带季节雨林内的研究结果有所不同。

致谢 感谢中国科学院哀牢山亚热带森林生态系统研究站在实验中,Douglas A. Schaefer在论文撰写中给予的帮助。

参考文献

- 杜颖,关德新,殷红,等. 2007. 长白山阔叶红松林的温度效应. 生态学杂志, 26(6): 787-792.
- 冯文婷,邹晓明,沙丽清,等. 2008. 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. 植物生态学报, 32(1): 31-39.
- 高举明,张一平,于贵瑞,等. 2008. 西双版纳热带季节雨林地温特征. 生态学杂志, 27(6): 880-887.
- 刘玉洪. 1991. 云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林土壤温度的分布特征. 林业科学, 27(6): 639-643.
- 刘玉洪. 1993. 哀牢山北段山地的地温气候资源分析. 自然资源学报, 8(2): 158-165.
- 马鸿儒,吉春容,邹陈,等. 2010. 天山中段雪岭云杉林浅层地温特征分析. 沙漠与绿洲气象, 4(6): 24-26.
- 沙丽清,郑征,唐建维,等. 2004. 西双版纳季节雨林的土壤呼吸研究. 中国科学D辑: 地球科学, 34(增刊II): 167-174.
- 王淼,姬兰柱,李秋荣,等. 2003. 土壤温度和水分对长白山不同森林类型土壤呼吸的影响. 应用生态学报, 14(8): 1234-1238.
- 吴家兵,关德新,代力民,等. 2002. 长白山阔叶红松林夏季温度特征研究. 生态学杂志, 21(5): 14-17.
- 邱学忠,谢寿昌. 1998. 哀牢山森林生态系统研究. 昆明: 云南科技出版社.
- 游承侠. 1983. 哀牢山徐家坝地区的植被分类//中国科学院昆明分院生态研究室. 云南哀牢山森林生态系统研究. 昆明: 云南科技出版社.
- Fuchs M. 1990. Canopy thermal infrared observations. *Remote Sensing Review*, 5: 323-333.
- Geiger R. 1965. *The Climate Near the Ground*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Keith H, Jacobsen KL, Raison RJ. 1997. Effects of soil phosphorus availability, temperature and moisture on soil respiration in *Eucalyptus pauciflora* forest. *Plant and Soil*, 190: 127-141.
- Kirschbaum MUF. 1995. The temperature dependence of soil organic matter decomposition and the effect of global warming on soil organic storage. *Soil Biology and Biochemistry*, 27: 735-760.
- Lloyd J, Taylor JA. 1994. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology*, 8: 315-323.
- Moore TR, Dalva M. 1993. The influence of temperature and water table position on carbon dioxide and methane emissions from laboratory columns of peat land soils. *Journal of Soil Science*, 44: 651-664.
- Moore TR, Knowles R. 1989. The influence of water table levels on methane and carbon dioxide emissions from peat land soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 69: 33-38.
- Otterman J, Brakke TW, Susskind J. 1992. A model for inferring canopy and underlying soil temperatures from multi-directional measurements. *Boundary-Layer Meteorology*, 61: 81-97.
- Stathers RJ, Black TA, Novak MD. 1985. Modelling soil temperature in forest clearcuts using climate station data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 36: 145-152.
- Tang JW, Baldocchi DD, Xu LK. 2005. Tree photosynthesis modulates soil respiration on a diurnal time scale. *Global Change Biology*, 11: 1298-1304.

作者简介 余雷,男,1987年生,硕士研究生。主要从事生态气候研究。E-mail: yulei@xtbg.ac.cn

责任编辑 王伟