

覆盖经营雷竹林的土壤热通量季节变化特征

陈云飞¹, 江洪^{1,2}, 周国模¹, 杨爽¹, 陈健¹

(1. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 杭州 浙江 311300; 2. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 江苏 210093)

摘要: 2010年10月至2011年9月, 运用土壤热通量板和常规气象观测仪器对浙江省临安市太湖源镇覆盖经营的雷竹 *Phyllostachys violascens* 林土壤热通量和气象因子进行了观测研究。结果表明: 在月尺度上5 cm土壤热通量日变化均成“S”形, 但月均值差异明显($P<0.05$)。年尺度土壤是热源, 净年热通量为 $-20.01\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, 土壤月均值热通量占月净辐射的 $-6.2\% \sim 3.5\%$, 年总值为净辐射的 -0.67% 。分析地温、净辐射因素与土壤热通量的关系, 土壤热通量与5 cm, 50 cm和100 cm土壤温度月均值回归研究表明: 与5 cm相关性最显著, 说明土壤温度变化是以热通量变化为基础的。土壤热通量月均值与净辐射显著相关($P<0.05$)。覆盖的雷竹林12–3月土壤为热源, 土壤热通量负向数值减小, 说明覆盖物减少了土壤能量辐射。图5参16

关键词: 森林生态学; 雷竹; 覆盖增温; 土壤热通量; 净辐射

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2013)02-0165-07

Seasonal changes in soil heat flux for a Lei bamboo forest with straw mulching

CHEN Yunfei¹, JIANG Hong^{1,2}, ZHOU Guomo¹, YANG Shuang¹, CHEN Jian¹

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

Abstract: The soil heat flux and meteorological factors of a Lei bamboo (*Phyllostachys violascens*) forest with straw mulching in Taihuayuan, Lin'an City, Zhejiang Province from October 2010 to September 2011 were measured. A regression analysis between heat flux and average monthly soil temperature and between monthly soil heat flux and net radiation was conducted for depths of 5, 50 and 100 cm, using soil heat flux plates (SHFP) and a meteorological monitoring system. Results indicated that for a depth of 5 cm, diurnal change in the soil heat flux on a monthly basis showed as an “S” curve. The soil acted as a heat resource with an annual net heat flux of $-20.01\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. The average monthly soil heat flux was from -6.2% to 3.5% of the net monthly radiation with the annual average monthly soil heat flux accounting for -0.67% of the net monthly radiation. The regression showed that soil heat flux was significantly ($P<0.05$) related to temperature at the 5 cm depth.

收稿日期: 2012-04-05; 修回日期: 2012-04-28

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(61190114); 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2011CB302705, 2011CB302705, 2010CB950702, 2010CB428503); 国家自然科学基金资助项目(41171324); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20110091110028); 科技部重大国际合作项目(20073819); 国家高技术研究发展计划(“863”计划)项目(2009AA122001, 2009AA122005); 科技部重大基础性项目(2007FY110300-04, 08); 浙江省重大科技专项(2008C13G2100010); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目; 浙江省重点科技创新团队项目(2010R50030); 浙江农林大学研究生科研创新基金资助项目(3122013240142)

作者简介: 陈云飞, 从事竹林生态系统碳通量研究。E-mail: chenyunfei126@126.com。通信作者: 江洪, 教授, 博士, 从事生态系统碳—氮—水循环、全球变化等研究。E-mail: jianghong_china@hotmail.com

Also, there was a significant relationship between average monthly soil heat flux and net radiation ($P < 0.05$). From December to the following March in the Lei bamboo forest, soil with straw mulching was a heat source, and the negative values of soil heat flux were reduced. Thus, the regression revealed that changes in soil temperature were based on changes of soil heat fluxes, and with straw mulching radiant/light energy of the soil was reduced. [Ch, 5 fig. 16 ref.]

Key words: forest ecology; Lei bamboo (*Phyllostachys violascens*); temperature increase effect of mulch; soil heat flux; net radiation

土壤是生态系统中重要的自然环境,是土壤—植被—大气连续体的基础。土壤热状态变化直接影响着植物的生长过程,甚至影响生态系统的能量分配和演替。土壤热通量是生态系统能量平衡研究中的重要分量,它表征土壤表层与深层间的热交换状况,尽管在数值上要较潜热通量、显热通量小很多,但在较小时问尺度上进行比较就必须准确估算土壤热通量的变化,才能正确地评价能量闭合程度。现有的土壤热通量研究主要集中在农田和草地^[1-5],作物的生产更容易受土壤热状态的影响。森林生态系统的土壤热通量时空差异较大,易受林地土壤性质、地形、气象因素的影响。土壤热通量大多是作为能量闭合的研究中的一个分量来计算^[6-8]。目前,对于竹林的土壤热通量研究还未见报道。竹林兼具森林和农田的特点,人工经营的雷竹 *Phyllostachys violascens* 林,通过覆盖增温措施,使竹笋的出土时间提前,增加了经营农户的经济效益,也势必影响竹林土壤热状况的变化。基于此,在浙江省临安市太湖源镇建立的微气象观测塔和土壤热通量板等,对土壤—植被—大气连续体进行气体交换过程及能量利用变化的观测研究,目的在于揭示人为经营活动影响下雷竹林土壤热量交换特征。本研究对 2010 年 10 月至 2011 年 9 月的连续观测数据进行分析,并进一步讨论地温、净辐射与土壤热通量的变化关系。

1 试验区概况

试验区雷竹林面积为 504 m²,2001 年建园,位于浙江省临安市太湖源镇横路村(30°18'N, 119°34'E),属于亚热带季风气候,温暖湿润,雨热同期,气候特征春季多雨,夏湿热有梅雨期,秋气爽,冬干冷。全年降水量为 1 600 mm,年平均气温为 16.0 °C,全年日照时数为 1 900.0 h。试验地土壤以红壤为主,海拔为 185 m,坡向北偏东 35°,坡度 2°~3°。观测塔下雷竹林群落平均高度为 4.5 m,平均胸径 4 cm,以 2~3 年生竹为主,胸径总盖度为 80%,有雷竹 1 128 株,林下灌木草本很少,有竹叶苔藓覆盖,为人工经营的雷竹林。

雷竹林主要的管理措施是在 11 月底先施肥,再覆盖一层稻草,稻草之上覆盖稻壳苔藓,持续到第 2 年 4 月覆盖的稻草腐烂入土,苔藓及时移除。自然状态下,2 月下旬至 3 月上旬土壤温度 10.0 °C 以下,而竹出笋最低温度需 9~10 °C,最适温度 20~24 °C^[9],有效积温 200 °C,11 月底竹林覆盖稻草苔藓可以保持地温 10 °C 以上,使雷竹提前发笋。笋芽 12 月底开始萌动,1 月中下旬大量出土,恰赶春节前后上市,价格较高。

2 仪器及观测

气象观测系统,安装有 3 层风速仪(010C, metone, 美国),3 层大气温度和湿度仪(HMP45C, Vaisala, Helsinki, 芬兰)。安装高度分别为 1.0 m, 5.0 m, 17.0 m, 2 个 SI-111 红外温度计分别置于 1.5 m 和 5.0 m,用于采集地表和冠层温度,净辐射仪(CNR4, Kipp & Zonen)安装高度 17.0 m,用于采集上行/下行的长波/短波辐射、净辐射的数据。此外,还有土壤热通量板 (HFP01, Hukseflux),观测深度 3 cm 和 5 cm,2 层各有 1 块土壤热通量板;土壤含水量仪 (CS616, Campbell, 美国)观测深度 5 cm, 50 cm, 100 cm; 土壤温度计(109, Campbell, 美国)观测深度 5 cm, 50 cm, 100 cm, 土壤温湿度测定在土壤 3 层梯度上各有 1 个探针。土壤热通量板和探针选取代表性好的地点,挖开土壤剖面,水平地面插入,土壤回填保持原状。上述数据采样频率均为 0.5 Hz,通过数据采集器(CR1000, CampbellInc, 美国)30 min 自动记录平均风速、温度、气压、净辐射等常规气象信息。根据其他站点观测经验本研究土壤热通量数据为 5 cm 深度观测数据,3 cm 深度用于插补校正数据。

3 结果与分析

3.1 不同季节土壤热通量的日变化

将土壤热通量 0.5 h 的连续数据，每个月的相同时刻做平均处理，得到月平均的日变化进程(图 1)。从月平均的日变化进程看，整体上成“S”形变化。其中，在冬季(12—2月)变化趋势明显小于其他月份，“S”形变化平缓，正负差值小。“S”形曲线，明显呈现出 1 个谷值和 1 个峰值，在谷值即负向最大值，表明土壤热量由土壤深层向土壤表层及大气释放热量达到最大值；在峰值即正向最大值，表明土壤热量由大气及土壤表层向土壤深层传递热量到达最大值。

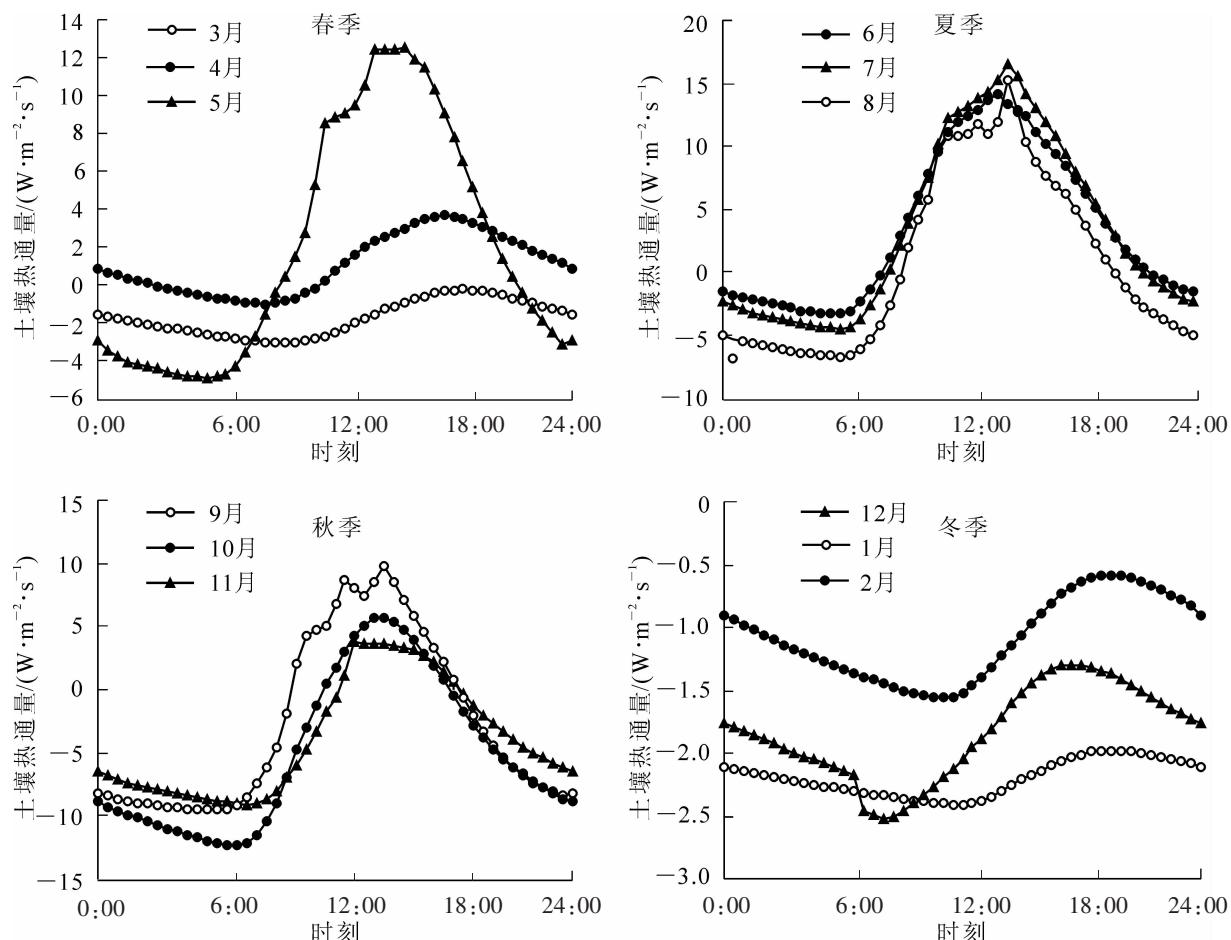


图 1 不同季节土壤热通量日变化

Figure 1 Diurnal changes of soil heat flux in the different seasons

春季(3—5月)，热通量值 3 月为负值，即热源。平均的日进程变化都是负值，在 9:30 达到最大值($-3.10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，最小值在 18:30($-0.25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。“S”形的谷值和峰值在 4 月提前到 8:30($-1.00 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)和 17:30($3.63 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，在 5 月推迟至 5:30($-4.90 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)和 15:00($12.45 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。随着 4—5 月正向热通量数值的增大和时间的推移，土壤变成热汇。春季净通量值为 $3.27 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，占全年热汇比例的 13.7%。

夏季(6—8月)，热通量变化一致，典型的“S”形变化。谷值在 5:30—6:00，在绝对数值上，8 月 > 7 月 > 6 月；峰值在 14:00—14:30，在绝对数值上，7 月 > 8 月 > 6 月。夏季 3 个月均为热汇，土壤深层从大气以及土壤表层汇聚大量热量。夏季净通量值为 $20.50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，占全年热汇比例的 86.3%。

秋季(9—11月)，在峰谷时刻变化上与夏季一致，在正向最大数值上明显小于夏季，分别为 9 月($9.81 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，10 月($4.2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，11 月($5.72 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，但在负向的绝对数值上却明显大于夏季，说明秋季土壤热量向外辐射的已经开始增加，秋季因此转为热源，10 月并成为全年的最大热源，影响土

壤全年能量平衡成为热源。秋季净通量值为 $-30.32 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 占全年热源比例为69.3%。

冬季(12~2月), 可能由于覆盖经营和冬季净辐射减少的原因, 热通量峰谷差值比较小, 12月($-2.52\sim-1.30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 1月($-2.41\sim-1.98 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 2月($-1.59\sim-0.59 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。在时刻变化上没有明显规律呈现, 谷值在8:00~12:00, 峰值在17:00~19:30变化, 较其余月峰谷值都有推迟。冬季净通量值为 $-13.45 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 占全年热源比例的31.7%。

从图2可以看出: 土壤热通量存在明显的季节变化, 夏秋季明显高于春冬季, 可能受净辐射和地温影响。土壤的月热通量总值在4~8月为正值, 表明为热源; 其余月份为负值, 表明为热汇。2次热通量符号发生变化分别发生在3~4月和8~9月, 即发生春秋季节。从全年月变化上看, 5 cm处土壤热能量负向绝对值的最大值出现在10月($-13.40 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$), 正向最大值出现在7月($9.17 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$), 绝对值最小值出现在8月($2.23 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$), 月际最大差值为 $22.57 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

3.2 土壤热通量与土壤温度的关系

5 cm, 50 cm 和 100 cm 土壤月平均温度变化(图3)显示, 全年呈单峰变化, 月平均最高温为8月, 最低温为1月。土壤3层深度的温度高低变化, 有3次交替。1~3月100 cm温度高于50 cm, 50 cm高于5 cm, 土壤温度随土壤深度而升高; 4月3层土壤温度相差不大; 之后5~8月变化刚好相反, 土壤温度随土壤深度增加而降低; 9月3层土壤温度又接近; 10~12月3层土壤温度变化和1~3月相同, 土壤温度随土壤深度而升高。土壤3层梯度的温度高低变化显示, 表层土壤较深层土壤是先低后高再低的变化趋势。其中在4, 9月2次重合, 同时也是土壤热通量符号转变的月份, 可见土壤热通量状态的变化, 直接影响土壤温度深度上温度的变化。

对土壤热通量月均值(y)和月均土壤温度(x)进行回归分析: 在土壤5 cm, $y=0.232x-4.580$, $R^2=0.250$, $F=3.33$, $P=0.098$, $n=12$, 不显著; 在土壤50 cm, $y=0.170x-3.577$, $R^2=0.091$, $F=1.022$, $P=0.340$, $n=12$, 不显著; 在土壤100 cm, $y=0.084x-4.580$, $R^2=0.015$, $F=0.155$, $P=0.702$, $n=12$, 不显著。

在日尺度上, 对土壤热通量日均值(y)和日均土壤温度(x)进行回归: 在土壤5 cm, $y=0.214x-4.142$, $R^2=0.120$, $F=49.466$, $P<0.001$, $n=365$, 极显著; 在土壤50 cm, $y=0.123x-2.688$, $R^2=0.025$, $F=9.468$, $P=0.002$, $n=365$, 显著; 在土壤100 cm, $y=0.03x-1.048$, $R^2=0.010$, $F=0.155$, $P=0.528$, $n=365$, 不显著。

月尺度上的一元回归关系不显著。从图3中可以看出: 温度变化要滞后热通量达到最大值, 同时因热通量在10~12月的负向减小而形成全年的“S”形曲线变化也和土壤温度的单峰变化不相符。土壤热通量反映土壤表层与深层间的热交换状况, 直接的结果就是地温的变化。可能热通量的方向变化, 在大尺度上变化符号, 与地温变化不显著。

在日尺度上, 比较3层梯度的日均土壤温度与土壤热通量回归关系, 随深度增加相关性, 由极显著到显著到不显著。说明热状况对地温变化的影响随土壤深度的增加而减弱。

3.3 土壤热通量与净辐射的关系

土壤热通量是生态系统能量平衡的重要分项。土壤热通量的精准计算, 关系能量闭合的评价。生态系统入射的净辐射 R_n , 是能量流通、转化的基础量度。当能量向下入射进入生态系统时, R_n 取正号; 反之, 当能量由生态系统放出时, R_n 取负号。一般能量平衡以下式表达^[10~11]:

$$R_n - G = L_E + H_e + S + Q. \quad (1)$$

式(1)中: R_n 为太阳净辐射($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$); G 为土壤热(存储)通量($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$); S 为植物和大气中的热存储能量($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), 雷竹冠层不足8 m, 热量储存可忽略不计; H_e 为显热能量($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)即显热耗能; L_E 为潜热能量($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)即潜热耗能; Q 为其他来源的能量总和, 由于数量极小常忽略不计。因而能量平衡表达为:

$$L_E + H_e = R_n - G. \quad (2)$$

式(2)的右端项为可利用能量, 左端项为标准湍流通量。土壤热通量与净辐射、显热通量、潜热通量的

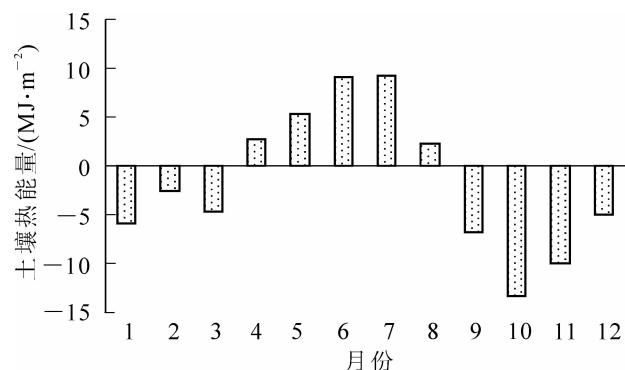


图2 土壤热通量月变化

Figure 2 Monthly change of soil heat flux

月均值变化关系见图4。

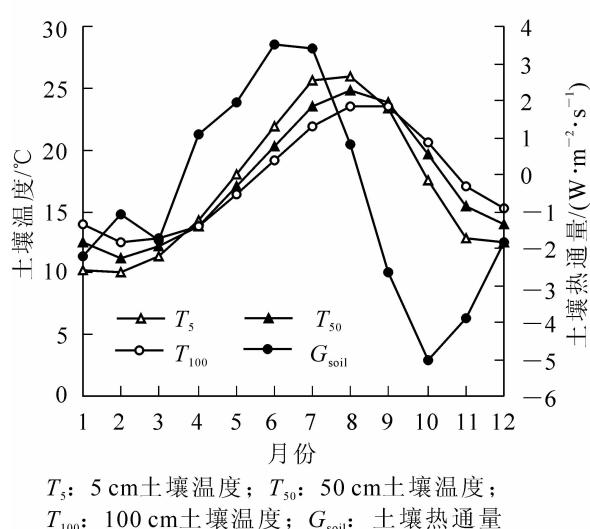


图3 土壤5 cm, 50 cm, 100 cm温度与土壤热通量月变化

Figure 3 Monthly change of soil temperature at the depths of 5 cm, 50 cm, 100 cm and soil heat flux

对土壤热通量月均值(y)和冠层净辐射(x)进行回归分析： $y=0.054x-5.675$, $R^2=0.510$, $F=10.422$, $P=0.009$, $n=12$, 达显著水平。在月平均的0.5 h尺度上： $y=0.018x-2.313$, $R^2=0.293$, $F=237.727$, $P<0.0001$, $n=574$, 达极显著水平。

回归关系显示：相关系数一般，但稍高于鼎湖山^[12]月尺度($n=12$)相关系数(0.49), 0.5 h尺度($n=17131$)相关系数0.13。在农田土壤和稀疏冠层的研究发现，在日尺度上相关系数有0.8以上^[13-14]，可见净辐射能否有效的穿过冠层达到地表，是影响净辐射与土壤热通量相关程度的重要因素。同时，在小的尺度上土壤热通量与冠层净辐射的关系更显著，也说明能量平衡要在较小的时间尺度内进行才能确保能量闭合的准确计算。

土壤热通量月总值占净辐射的比例全年变化大致呈“S”形，夏秋为正值，春冬为负值(图5)。由于净辐射全年始终为正值，故比例符号也就是土壤热通量的方向变化符号。从1月的-5.58%开始至3月(-1.99%)，为负值的变化区间，所占比例绝对值下降，4月(0.88%)到8月(0.60%)为正值变化，所占比例的绝对值先升后降，6月(3.50%)为全年正向最大值，9月(-2.70%)再次进入负方向的变化区间，绝对值先增后减，在10月(-6.25%)达到全年负向的最大值。

回归关系与占净辐射比例变化与南亚热带针阔混交林土壤热通量^[12]结果相一致，其中正负热通量的月变化与大兴安岭原始林区^[15]、鼎湖山针阔混交林^[16]完全一致。在月总值变化上，大兴安岭与鼎湖山地区的负向最大值都出现在11月、12月和1月，而覆盖经营的雷竹林的负向热通量最大出现在10月，11-1月开始减小。这可能是因为冬季覆盖增温措施，在地表所覆盖的稻草和稻壳谷糠以及施用的有机肥，减少了深层土壤向表层及大气中辐射热量，保持了土壤热状态的稳定。这样为雷笋的增产和提前出土，创造了有利的土壤条件。

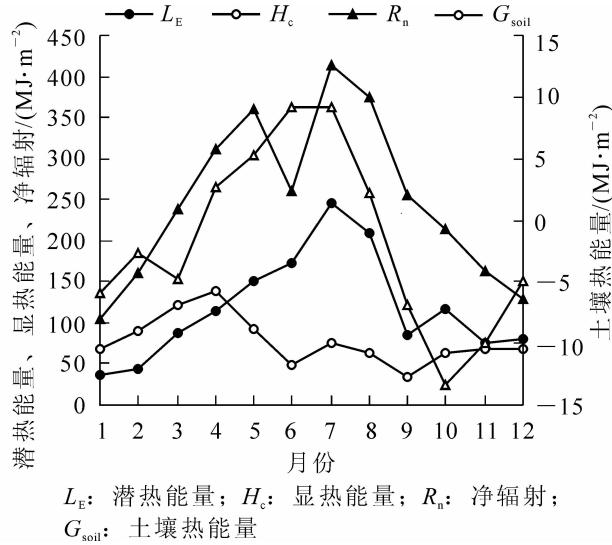


图4 土壤热能量、显热能量、潜热能量、净辐射的月变化

Figure 4 Monthly changes of soil heat flux, sensible heat flux, latent heat flux, net radiation

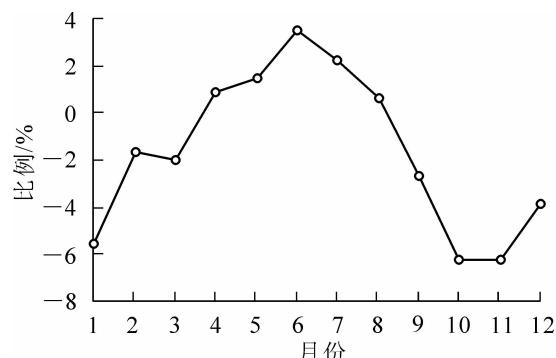


图5 土壤热通量月总值占净辐射的比例变化

Figure 5 Monthly variation of the ration between soil heat flux to net radiation

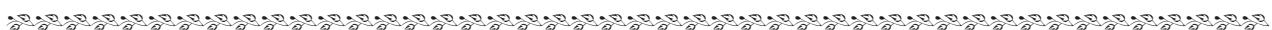
4 结论

就年尺度而言, 覆盖经营的雷竹土壤为热源, 5 cm 土壤年总热能量为 $-20.01 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在月尺度上, 1–3月土壤热能量为负值, 4–8月为正值, 9–12月再次为负值。全年明显的季节变化, 夏秋季为热汇, 春冬季为热源。土壤月均值热能量占月净辐射的 $-6.2\% \sim 3.5\%$, 年总值为净辐射的 -0.67% 。土壤热通量与相关因素之间的回归研究说明, 土壤热通量在小尺度时间内与土壤温度相关, 与5 cm 土壤最显著; 土壤热通量与净辐射在月尺度与0.5 h 尺度上显著相关。与有关文献报道的森林相比, 冬季覆盖后热通量负向绝对数值变小, 说明覆盖物有效地防止了热量的散失, 有利于提高地温和雷竹笋的早出增产。限于该站点观测仅对地温、净辐射数据分析, 没有对土壤理化性质进行实验测定, 对土壤热通量的变化解释也就不完整, 这样需要下一步工作的补充。

参考文献:

- [1] 王春风, 刘文兆, 朱元骏, 等. 长武塬区农田生态系统土壤热状况变化特征[J]. 中国农学通报, 2011, **27** (18): 130 – 134.
WANG Chunfeng, LIU Whenzhao, ZHU Yuanjun, et al. Variation characteristics of soil thermal regime in the agricultural ecosystem of Changwu tableland [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2011, **27** (18): 130 – 134.
- [2] 阳伏林, 周广胜. 内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子[J]. 生态学报, 2010, **30** (21): 5769 – 5780.
YANG Fulin, ZHOU Guangsheng. Characteristics and driving factors of energy budget over a temperate desert steppe in Inner Mongolia [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30** (21): 5769 – 5780.
- [3] 李祎君, 许振柱, 王云龙, 等. 玉米农田水热通量动态与能量闭合分析[J]. 植物生态学报, 2007, **31** (6): 1132 – 1144.
LI Yijun, XU Zhenzhu, WANG Yunlong, et al. Latent and sensible heat fluxes and energy balance in a maize agroecosystem [J]. *J Plant Ecol*, 2007, **31** (6): 1132 – 1144.
- [4] 姚小英, 王澄海, 蒲金涌, 等. 甘肃黄土高原地区土壤水热特征分析研究[J]. 土壤通报, 2010, **33** (4): 139 – 142.
YAO Xiaoying, WANG Chenghai, PU Jinyong, et al. Hydro-thermal feature of soil in the loess plateau, Gansu [J]. *Chin J Soil Sci*, 2010, **33** (4): 139 – 142.
- [5] 朱自玺, 方文松, 赵国强, 等. 麦秸和残茬覆盖对夏玉米农田小气候的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2000 (2): 19 – 24.
ZHU Zixi, FANG Wensong, ZHAO Guoqiang, et al. Effects of straw and residue mulching on microclimate of summer corn field [J]. *Agric Res Arid Areas*, 2000 (2): 19 – 24.
- [6] 张新建, 袁凤辉, 陈妮娜, 等. 长白山阔叶红松林能量平衡和蒸散[J]. 应用生态学报, 2011, **22** (3): 607 – 613.
ZHANG Xinjian, YUAN Fenghui, CHEN Nina, et al. Energy balance and evapotranspiration in broad-leaved Korean pine forest in Changbai Mountains [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22** (3): 607 – 613.
- [7] 王旭, 尹光彩, 周国逸, 等. 鼎湖山针阔混交林旱季能量平衡研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2005, **13** (3): 205 – 210.
WANG Xu, YIN Guangcai, ZHOU Guoyi, et al. Dry season energy balance of a coniferous and broad-leaved mixed forest at Dinghushan Mountain, Southern China [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2005, **13** (3): 205 – 210.
- [8] 刘允芬, 宋霞, 刘琪, 等. 亚热带红壤丘陵区非均匀地表能量通量的初步研究[J]. 江西科学, 2003, **21** (3): 183 – 188.
LIU Yunfen, SONG Xia, LIU Qi, et al. Preliminary study on surface energy flux over heterogeneous land surface in subtropics red earth hilly region [J]. *Jiangxi Sci*, 2003, **21** (3): 183 – 188.
- [9] 徐缪畅, 胡永斌, 胡余楚, 等. 雷竹生产发展与竹园覆盖技术[J]. 上海农业科技, 2008 (2): 85 – 86.
XU Maochang, HU Yongbin, HU Yuchu, et al. Lei bamboo production development and covered technology [J]. *Shanghai Agric Sci Technol*, 2008 (2): 85 – 86.
- [10] KELL W, ALLEN G, EVA F, et al. Energy balance closure at FLUXNET sites [J]. *Agric For Meteorol*, 2002, **113**: 223 – 243.
- [11] HEUSINKVELD B G, JSCOBS A F G, HOLTSLAG A A M, et al. Surface energy balance closure in an arid region:

- role of soil heat flux [J]. *Agric For Meteorol*, 2003, **116**: 143 – 158.
- [12] 王旭, 周国逸, 张德强, 等. 南亚热带针阔混交林土壤热通量研究[J]. 生态环境, 2005, **14** (2): 260 – 265.
WANG Xu, ZHOU Guoyi, ZHANG Deqiang, et al. Soil heat fluxes of mixed coniferous and broad-leaf forest in the south subtropics in China [J]. *Ecol Environ*, 2005, **14** (2): 260 – 265.
- [13] 申双和, 崔兆韵. 棉田土壤热通量的计算[J]. 气象科技, 1999, **19** (3): 276 – 281.
SHEN Shuanghe, CUI Zhaoyun. Calculation of soil thermal flux in cotton field [J]. *Sci Meteorol Sin*, 1999, **19** (3): 276 – 281.
- [14] 肖文发. 油松林的能量平衡[J]. 生态学报, 1992, **12** (1): 16 – 24.
XIAO Wenfa. The energy balance of a stand [J]. *Acta Ecol Sin*, 1992, **12** (1): 16 – 24.
- [15] 王美莲, 崔学明, 韩鹏, 等. 大兴安岭原始林区土壤热通量变化特征的初探[J]. 内蒙古农业大学学报; 自然科学版, 2010, **31** (4): 139 – 142.
WANG Meilian, CUI Xueming, HAN Peng, et al. Studies on the change of soil heat flux in the virgin forest of great Xing'anling Mountains [J]. *J Inner Mongolia Agric Univ Nat Sci Ed*, 2010, **31** (4): 139 – 142.
- [16] 尹光彩, 王旭, 周国逸, 等. 鼎湖山针阔混交林土壤热状况研究[J]. 华南农业大学学报: 自然科学版, 2006, **27** (3): 16 – 20.
YIN Guangcai, WANG Xu, ZHOU Guoyi, et al. Study on the soil thermal conditions of coniferous and broad-leaved mixed forest in Dinghushan Reserve [J]. *J South China Agric Univ Nat Sci Ed*, 2006, **27** (3): 16 – 20.



“浙江农林大学·国际竹藤组织非洲农林研究院”成立

2012年12月16日，“浙江农林大学·国际竹藤组织非洲农林研究院”成立。

浙江省人大常委会副主任程渭山, 埃塞俄比亚大使塞尤姆·梅斯芬·格波利丁勒, 坦桑尼亚大使菲利普·马尔莫, 国际竹藤组织总干事古珍, 国家林业局联合国气候变化林业议题谈判首席谈判代表、亚太森林网络管理中心副主任王春峰, 浙江省外事办副主任顾建新, 浙江省农业厅副厅长赵兴泉, 浙江农林大学党委书记宣勇, 校长周国模等出席成立仪式。浙江农林大学副校长金佩华主持成立仪式。

程渭山指出, 中国被称为“竹子文明的国度”, 也是竹子管理水平最高的国家, 而浙江省竹业发展水平又在全国竹业发展中占有很大比例, 有“中国竹子看浙江”的美誉。过去10年, 浙江省与国际竹藤组织发展并保持了友好持续健康的合作关系。“十二五”时期, 浙江将大力发展战略性新兴产业。浙江农林大学立足自身优势, 大胆创新, 先行先试, 积极扩大教育开放, 与国际竹藤组织等国际组织积极合作, 成立了特色鲜明的非洲农林研究院, 为浙江省的对外交流合作写下了新的篇章。作为中国对外交流的重要组成部分, 中非合作交流具有非常重要的现实意义。希望通过非洲农林研究院的成功运行, 积极向非洲国家推广传播中国的竹子科技、教育和文化理念, 促进中非竹子科技、教育以及产业发展的合作与交流, 推进中非友谊, 特别是非洲人民对浙江省的了解, 为中非合作特别是中非农林业的深度合作做出更大贡献。

周国模代表学校致辞。他指出, 作为浙江省唯一的省属农林类高校, 我们积极响应国家对非洲农林业合作的战略需求, 和国际竹藤组织联手组建非洲农林研究院。作为中国首个非洲农林业研究机构、农林技术研发机构和投资开发咨询机构, 今后研究院将充分依托学校和国际竹藤组织的各自优势, 为中国和非洲相关领域的专家学者提供一个开放的交流与合作平台, 推动中国与非洲农林业发展领域的交流、合作与互动, 推动中非农林业及相关领域的科技合作和人文交流, 促进中非农林产业的可持续发展。

宣勇和古珍为非洲农林研究院揭牌, 并向研究院院长金佩华和楼一平授牌。

新闻中心