

68-75 8772.16.2 S 716 S  
青冈常绿阔叶林内的小气候特征\*

常杰 潘晓东 葛滢 陈增鸿 刘珂 陈启常

(浙江大学生命科学学院 杭州 310012)

**摘要** 分析我国中亚热带东部青冈(*Quercus glauca*)常绿阔叶林内的小气候特征,1993~1995年的研究结果表明:①到达青冈林的总太阳辐射为3344780kJ/(m<sup>2</sup>·a),四季中群落的反射率、透射率和吸收率分别为16%~22%,9%~12%和67%~74%。②林冠外上方及群落上层气温在白天高于群落下层,夜间低于群落下层,可相差3~5℃,夏季差异最大。③林内外空气相对湿度的日动态呈“U”型变化,林内夜间湿度高达90%左右,午间较低,在50%左右,在四季的晴天中,林冠上方的空气相对湿度均低于林内,相差5%~22%,夏季和冬季差异最大。④林中的CO<sub>2</sub>浓度在林冠层最低,近地面层最高,各季节始终低于林外,其中夏、秋两季最明显。⑤在春、夏、秋3季中,土壤温度为白天高于夜间,而冬季则为夜间高于白天;土壤湿度以冬、春季较高(31.9%和28.5%),夏季最低(14.2%)。由于青冈次生林的叶面积指数较小,群落结构较简单,因而整个群落的透光系数较大,群落内外空气湿度的差异也较小,体现出幼年林向中年林过渡阶段的特点。

**关键词** 青冈(*Quercus glauca*),常绿阔叶林,林内小气候。

## FEATURES OF THE MICRO-CLIMATE IN THE EVERGREEN BROAD-LEAVED FOREST DOMINATED BY *Quercus glauca*

CHANG Jie PAN Xiao-Dong GE Ying CHEN Zeng-Hong Liu Ke CHEN Qi-Chang

(College of Life Science, Zhejiang University, Hangzhou, 310012, China)

**Abstract** The main features of the micro-climate in the evergreen broad-leaved forest dominated by *Quercus glauca* in the east of mid-subtropical zone of China were studied. Results of 1993~1995 showed that: ①The amount of the total solar radiation reached the forest was 3344780 kJ/(m<sup>2</sup>·a). In a year, the reflection rate, transmission rate and absorbent rate of the community were 16%~22%, 9%~12% and 67%~74%. ②The air temperature in day was: above tree canopy > in tree canopy > lower layer in the forest, but in night was on the contrary to the day. The air temperature above the canopy had 3~5℃ of difference to that in the forest, and the greatest difference occurred in summer. ③The diurnal variations of air relative humidity (RH) was in the shape of "U". In night, the RH was as high as 90% while in the day it was only 50%. In the clear days of 4 seasons, the RH above the tree canopy was lower than that in the forest and the difference between in and out the forest was 5%~22%. The greatest difference also occurred in summer and winter. ④CO<sub>2</sub> concentration in the forest was lower than that out the forest, the lowest was in

\* 国家自然科学基金资助项目,编号39270141。

收稿日期:1996-08-10,修改稿收到日期:1997-03-14。

the tree canopy, the highest was near the ground surface in the forest, especially in the summer and autumn. ⑤ In spring, summer and autumn, the soil temperature in day was higher than in night, while in winter it was reverse. The soil water status was higher in winter and spring (31.9% and 28.5% of dry soil), and was the lowest in summer (14.2%). Since the LAI of the forest dominated by *Quercus glauca* in Zhejiang was low nowadays, the structure of the community was simple, so the transmission of light was high, and the differences of the temperature and humidity between in and out the forest were not so great. That reflected it was in the transitional period from young growth to the middle-aged forest.

**Key words** evergreen broad-leaved forest, *Quercus glauca*, micro-climate.

青冈常绿阔叶林指以青冈 (*Quercus glauca*) 为建群种 (或优势种) 与其它树种所组成的森林群落类型。它集中分布在湘中丘陵以东, 一直到东海岸海拔 200~1000m 的丘陵坡地、山脊、沟谷等处。关于青冈常绿阔叶林的群落组成、结构等已有报道<sup>[1]</sup>。

自本世纪初开始, 国外许多学者研究了多种森林群落的环境特征<sup>[2~5]</sup>。我国学者近年来在温带阔叶林、针叶林以及亚热带季风常绿阔叶林等生态系统中也做过研究工作<sup>[6~11]</sup>, 但总的来说, 关于我国许多森林类型的小气候特征的研究报道并不多见, 特别是对于中国东部亚热带常绿阔叶林小气候特征的详细研究, 尚属空白。

本文以多路传感器同步观测的方式, 研究了青冈常绿林内的小气候特征。其结果为了解中亚热带常绿林的碳循环提供了基础资料。

### 1 样地概况与研究方法

根据“典型性、代表性和一致性”的原则, 并考虑到青冈林生态系统研究的连续性, 本研究选择了浙江省建德市林场泷江分场内的青冈常绿阔叶林作为研究样地。地理位置约为北纬 29°24', 东经 119°31'。该分场内共有常绿阔叶林约 20km<sup>2</sup>, 均为发育良好、保存较完整的天然次生林。

研究地区的青冈常绿阔叶林主要为 1958 年大炼钢铁烧炭砍伐后封育而成, 林龄仅 40a 左右, 树高和叶面积指数较低, 群落结构较简单。但无论在种类组成, 还是在群落外貌和结构上都具有我国典型亚热带常绿阔叶林的基本性质, 在亚热带原生常绿阔叶林已不多见的今天, 具有广泛的代表性。

群落内结构复杂, 成层现象明显, 可划分为乔木层、亚乔木层、下(灌)木层和草本层以及层间植物和地被层。乔木层高度 10~13m, 胸径 10~15cm, 郁闭度 0.6~0.8, 植株密度约 2000 株/hm<sup>2</sup>, 主要由壳斗科、山茶科和樟科的大、中高位芽植物组成。亚乔木层高度 4~7m, 胸径 5~8cm, 基径 >1cm, 郁闭度 0.3~0.5, 其中乔木层大、中高位芽植物的幼树占一半以上, 另有樟科、山茶科、杜鹃花科、山矾科等的常绿小高位芽植物。下木层高度在 2m 以下, 郁闭度 0.2~0.4, 组成种类以常绿小高位芽植物为主, 且大部分种类已在亚乔木层中出现过。草本层较稀疏, 盖度在 10% 以下, 以常绿的蕨类地面芽植物占优势, 其次为常绿的地面芽植物。林中藤本植物以常绿的木质藤本居多。地被层多枯枝落叶, 厚度一般在 3~5cm 左右<sup>[1]</sup>。

本区地处我国东部中亚热带的湿润季风气候区, 受大陆东岸季风影响明显, 春、秋两季温暖湿润, 夏季炎热、有暂时性伏旱, 但受台风影响, 雨量充沛, 冬季较寒冷, 降水量稍低。

在样地内建立了 14m 高的气象观测塔 1 座。从林冠上方至地表每隔 2m 高度在观测塔东、西、南、北 4 个方位 (距塔心向 2m 左右) 设置温度和湿度传感器; 在塔四周地中 15、30 和 50cm 深度设置温度传感器。自林冠上方向下, 每 2m 设置一个大气采样口。太阳辐射强度用天空辐射表测定, 温度和湿度用自行组装的便携式多路环境数据自动采集系统<sup>[12]</sup>自动观测; 土壤湿度用电导法配合烘干法测定; CO<sub>2</sub> 浓度用红外线气体分析仪测定; 风速用热球式电风速计测量。

观测工作在1993年10月~1995年1月间进行,在四季的中间月份,分别选择3~5d测定。在林冠上方至林内地表0.5m高处,每1h测量1次太阳总辐射、群落的反射辐射和透射辐射,取6次平均;每0.5h测量1次温、湿度;在林冠上方2m和林中每2h测1次风速;每2h测量1次0~50cm土壤层的含水率。

温、湿度数据取4个方位的数据平均。另外,考虑到四季以及与同类其他工作的可比性,本文仅选择了各次观测中晴天条件的结果进行了分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 青冈林太阳辐射的时空分布特征

**2.1.1 辐射通量的日动态及季节差异** 青冈林林冠表面所到达的太阳总辐射,其日动态在四季晴天中均为以中午为最高点的正态分布(图1)。反射、透射和吸收辐射通量的日动态与总辐射相似。吸收辐射在总辐射中所占比例最大,其日振幅在3个辐射分量中也最大,透射辐射的日振幅最小,表明在群落底部太阳辐射强度的日变化最平缓。在各时刻辐射分量的大小顺序均为吸收>反射>透射。

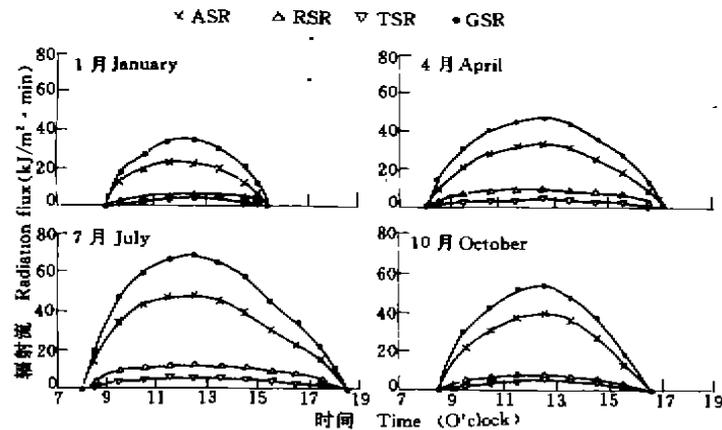


图1 青冈林的太阳总辐射(GSR)、吸收辐射(ASR)、透射辐射(TSR)和反射辐射(RSR)的日动态

Fig. 1 Diurnal variations of the total solar radiation,absorbent,reflection and transmission radiation of the forest dominated by *Quercus glauca*

由于太阳高度角和方位角在全年中的周期性变化,到达青冈林的太阳总辐射通量的大小也发生季节性变化,一天中的最大值以夏季最高,达68.24kJ/(m<sup>2</sup>·min),其次为春、秋两季,分别为46.89和53.17kJ/(m<sup>2</sup>·min),冬季最低,只有35.69kJ/(m<sup>2</sup>·min)。其它3个辐射分量通量的季节变化与太阳总辐射相似,其中透射通量的季节变化最小,一天中的最大值在4.55kJ/(m<sup>2</sup>·min)(春)~6.16kJ/(m<sup>2</sup>·min)(夏)范围内。

**2.1.2 群落内辐射强度的垂直变化及时间动态** 图2描绘了夏季晴天从日出到中午各时刻青冈林不同高度的辐射强度变化状况。各垂直高度上的辐射随太阳高度角的增大而增强,其中林冠表面的辐射日振幅最大,越到下部,辐射的日振幅越小。

由图2可见,林冠层对辐射的衰减最大,从林冠表面到林冠底部,辐射可衰减70%~80%,在群落中部以下,辐射的垂直梯度很小。这种衰减特征与群落结构密切相关,青冈常绿林的林冠层枝叶繁茂,叶面积指数较大(7.05),吸收和反射了大部分光能;另外,受亚乔木层的影响,在6~8m处也有比较明显的辐射衰减,而在

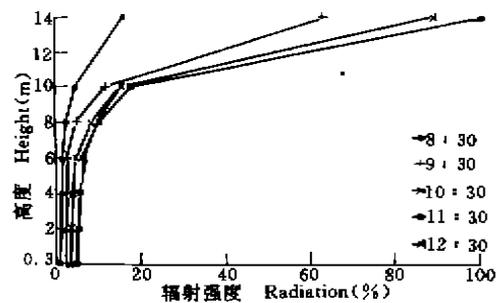


图2 夏季晴天各时刻群落内辐射强度的垂直变化  
Fig. 2 Vertical variation of the intensity of radiation in the community in clear day in summer

6m以下,由于下木层的叶面积指数很小(0.60),对光的阻挡很少,草本层更加稀疏(LAI=0.1),因而在6m以下辐射的衰减不显著。全天平均到达灌木层和地面的辐射分别相当于林冠上方辐射的5.73%和5.30%。

在不同太阳高度角的情况下,群落对光的衰减率不同。随高度变化最明显的是林冠层,随太阳高度角的增大,衰减率渐增。在日出时,林冠的辐射衰减率较小,为80%,而中午的衰减率较大,可达89%。

## 2.2 青冈林内气温的时空动态

### 2.2.1 林内不同高度层气温的时间变化

青冈林气温的日动态明显受太阳辐射的影响。日出后,气温随太阳辐射的增强而升高,但是最高温度出现的时间一般比太阳辐射的峰值迟滞2h左右,从林冠上方到群落底部,各高度层的最高气温出现的时间逐渐延迟(图3)。

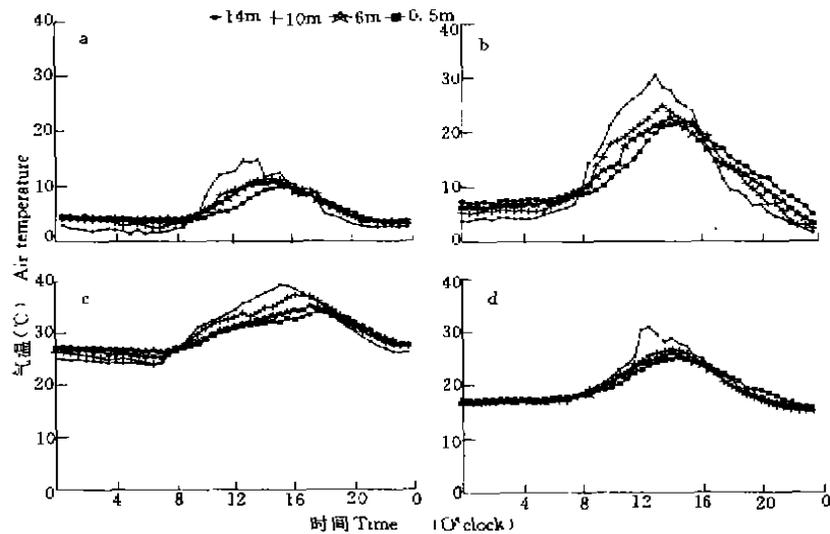


图3 四季晴天青冈林气温的日进程

Fig. 3 Diurnal variations of the air temperature in forest dominated by *Quercus glauca* in clear days of four seasons

### 2.2.2 群落中气温的垂直分布

林冠上方和群落上层气温在白天高于群落下层,一般由上至下逐渐变化,夜间与白天正相反。林冠上方的气温与林中可相差3~5℃(图4),其中夏季差异最大,冬季其次。林冠层以下气温的变化明显变小。

## 2.3 青冈林内空气湿度的时空动态

### 2.3.1 林内不同高度层空气湿度的时间变化

四季中青冈林空气相对湿度的日动态均呈“U”型变化(图5),夜间林内相对湿度高达90%左右,日出前常出现一较高值,日出后湿度迅速下降,在气温最高、太阳辐射最强时,相对湿度最低,日落时湿度又迅速上升。

### 2.3.2 空气湿度的垂直分布

在四季的晴天中,林冠上方的空气相对湿度均低于林内,林内外相差幅度为5%~22%,同气温相似,湿度也以夏季和冬季差异最明显,不同的是秋季差异也较大。在群落中,一般白天自高向低逐渐增加,越接近地面则湿度越大,在夜间、早晨和晚上,群落中部的空气湿度高于地面。白天各高度上的湿度差大于夜间。另外,秋季在3m左右高度上的空气湿度有一较明显的低谷,这个高度正是灌木的冠层分布的高度,对比图4可以发现,此高度气温较其它高度略高,这可能是此高度空气相对湿度较低的主要原因。

## 2.4 群落中CO<sub>2</sub>的垂直梯度

青冈林中的CO<sub>2</sub>浓度在各季节始终低于林外,其中夏季和秋季最明显,冬季差异较小。夏秋季节,在群落中,以乔木冠层高度的CO<sub>2</sub>浓度最低,自冠层向下逐渐增高,这是冠层光合消耗CO<sub>2</sub>的结果。在灌木层附近由于灌木的光合作用,CO<sub>2</sub>浓度也略有降低。在地面附近,由于有机物的分解和土壤的呼吸作用,CO<sub>2</sub>浓

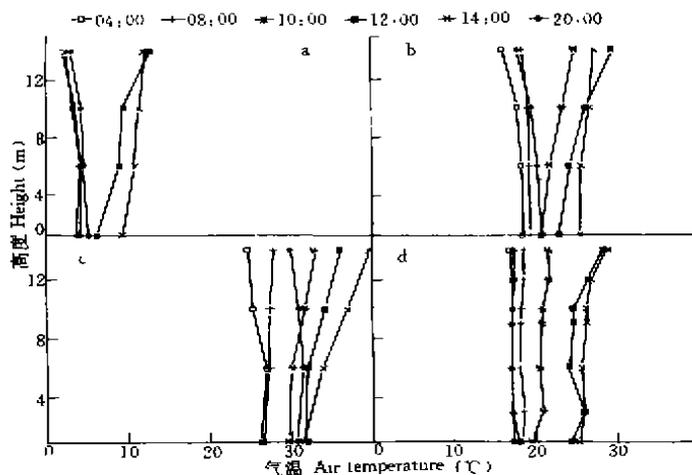


图4 四季晴天群落中气温的垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of the air temperature in the community in clear days of four seasons

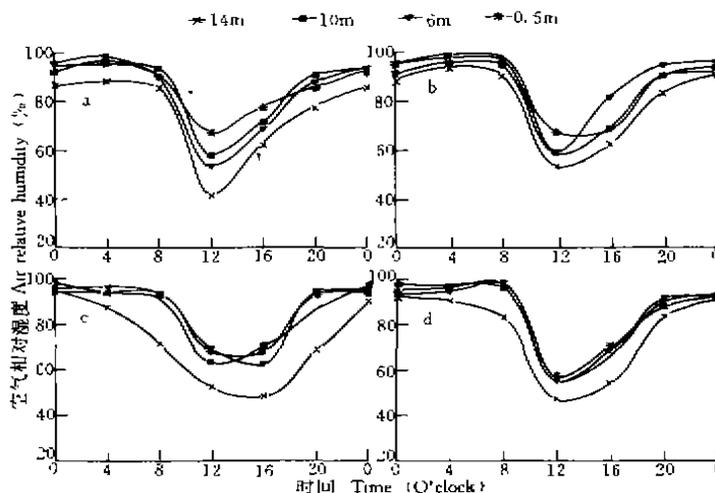


图5 四季晴天青冈林内空气湿度的日动态

Fig. 5 Diurnal variations in air relative humidity in forest dominated by *Quercus glauca* in clear days of four seasons

度迅速增高。冬季由于光合作用较低,并且由于低温,微生物不活跃,因而土壤也无明显的呼吸,因而群落中的 CO<sub>2</sub>浓度自上而下几乎没有变化。

### 2.5 群落中土壤温湿度分布

土壤温度的日动态在四季中不同(图8)。在春、夏、秋3季中,土壤温度为白天高于夜间,各深度处的温度一般在午后至日落时达到较高值,而冬季则不同,上午日出之后土壤温度非但不升高,反而下降,直至中午以后才开始升高,全天为夜间温度高于白天。下层土壤的温度变化比上层延迟。土壤温度在夏季全天均为上层高于下层,冬季与夏季正相反,春、秋两季白天上层温度高于下层,夜间与白天相反。土壤温度的日振幅和季节振幅都以上层为大,越向下层振幅越小。土壤温度的变化规律表明一方面受太阳辐射的影响,另一方面由于热量传递引起的温度变化迟滞效应,它的日变化和季节变化又有其自身的规律,与太阳辐射

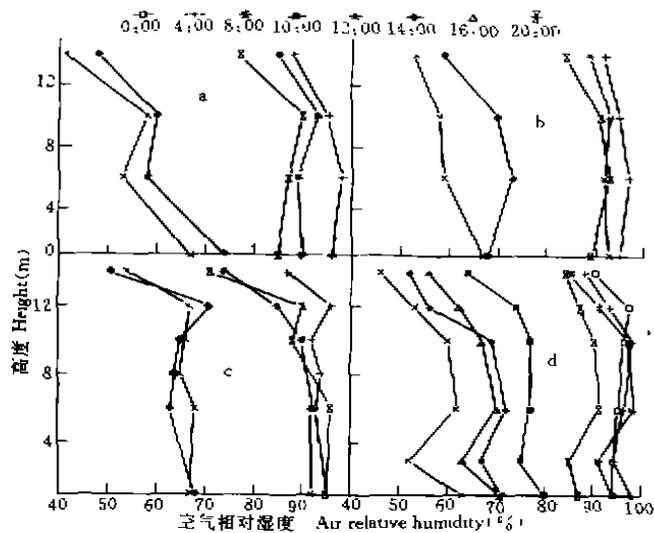


图6 四季晴天群落内空气湿度的垂直分布

Fig. 6 Vertical distribution of the air relative humidity in the community in clear days of four seasons or the change of temperature.

土壤湿度的日变化较小(表1),从早到晚呈下降的趋势,但时有波动,有时夜间湿度稍有升高。在四季中,春季土壤含水率最高,夏秋两季最低,冬季的土壤含水率也较高。

### 3 讨论

由于研究地区地处中亚热带北缘,冬季气温偏低,限制了植物的分布、群落的结构建成和树木生长,因而与同样林龄的亚热带季风常绿阔叶林相比<sup>[9]</sup>,其叶面积指数较低,群落结构也较简单。其郁闭度甚至低于不到10年轮的托里桉林<sup>[6]</sup>,叶面积指数低于较成熟的温带辽东栎落叶阔叶林<sup>[10]</sup>(表2)。

由于青冈次生林叶面积指数较小,群落结构较简单,因而整个群落透光系数较大,透过乔木层到达灌木层的辐射占群落上方辐射的5.73%,高于亚热带季风常绿阔叶林(4.20%),但低于亚热带马尾松林(幼龄林7.3%,中龄林22.4%)和温带辽东栎阔叶林(9.68%)。青冈林中透射到地面的光量也有群落上方的5.30%,林内光强(灌木层和草本层上方为3.26klx和2.97klx)远远高于林下植物光合作用的光饱和点,并且还有一定量的直射光斑。所以在青冈次生林内,各种植物的光合和生长基本上不受光量的限制,林下植物在群落结构中所占比重将继续增加。林冠下部受光量较大,乔木层光合作用较强,整个群落处于迅速生长阶段<sup>[1]</sup>。群落内外空气温湿度差异也还较小。这种小气候体现出幼年林到中年林过渡阶段的特点。

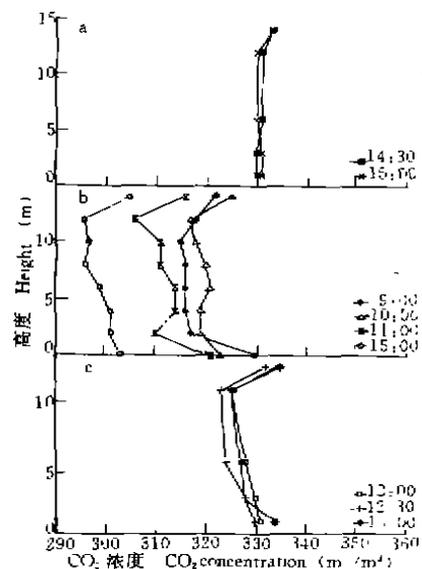


图7 冬、夏、秋季晴天群落内CO<sub>2</sub>浓度的垂直分布

Fig. 7 Vertical distribution of the CO<sub>2</sub> concentration in the community in clear days of winter, summer and autumn

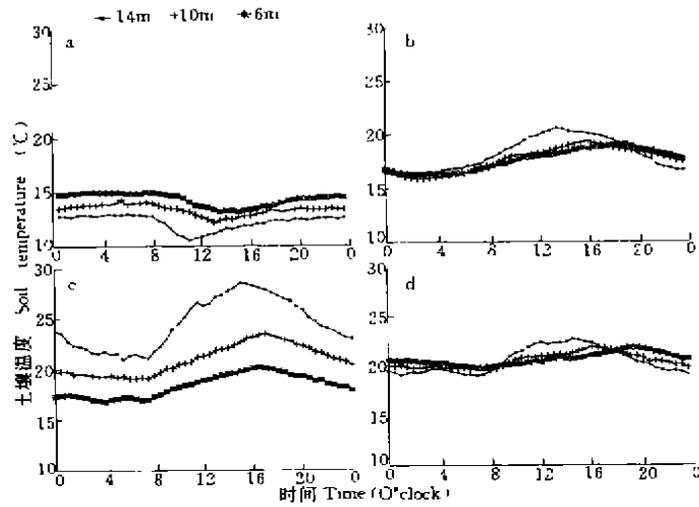


图8 青冈林内土壤四季土温的日进程

Fig. 8 Diurnal variations of the soil temperature in forest dominated by *Quercus glauca* in clear days of four seasons

表1 青冈林下四季中土壤含水率的日动态(%干土)

Table 1 Diurnal variations of the soil temperature in the forest dominated by *Quercus glauca* in clear days of four seasons

| 季节<br>Seasons | 时间 Time(O'clock) |      |       |       |       |       |       |       |       | 日平均<br>Daily mean |
|---------------|------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
|               | 6:00             | 8:00 | 10:00 | 12:00 | 14:00 | 16:00 | 18:00 | 20:00 | 22:00 |                   |
| 春 Spring      | 33.5             | 32.2 | 31.1  | 31.9  | 30.3  | 31.3  | 31.3  | 32.4  | 32.7  | 31.9              |
| 夏 Summer      | 15.1             | 14.7 | 14.7  | 14.8  | 14.1  | 14.1  | 13.7  | 13.7  | 13.3  | 14.2              |
| 秋 Autumn      | 18.4             | 18.1 | 19.1  | 18.4  | 18.7  | 17.3  | 18.4  | 18.2  | 19.2  | 18.4              |
| 冬 Winter      | 29.5             | 30.2 | 28.7  | 27.5  | 29.1  | 29.3  | 28.3  | 27.1  | 27.1  | 28.5              |

表2 几种森林的结构特征

Table 2 Structural characters of several forest types

| 森林类型 Forest types    | 高度 Height | 层次 Layers | LAI     | 郁闭度 Canopy density | 资料来源 Information |
|----------------------|-----------|-----------|---------|--------------------|------------------|
| 季风常绿阔叶林 <sup>①</sup> | —         | 5         | 17      | —                  | 张祝平,1990[9]      |
| 温带落叶阔叶林 <sup>②</sup> | 15        | 3         | 9.1~9.5 | —                  | 孙雪峰、陈灵芝,1995[10] |
| 托里桉混交林 <sup>③</sup>  | 5.9       | 1         | —       | 0.95               | 谭绍满、黄金龙,1985[8]  |
| 马尾松幼林 <sup>④</sup>   | 4         | 3         | —       | 0.68               | 洪启法等,1963[11]    |
| 青冈常绿阔叶林 <sup>⑤</sup> | 12        | 5         | 7.7     | 0.70               | 本文               |

① Monsoon broad-leaved evergreen forest; ② Deciduous broad-leaved summergreen forest; ③ Mixed forest of *Eucalyptus torelliana*; ④ Young forest of *Pinus massoniana*; ⑤ Broad-leaved forest dominated by *Quercus glauca*.

## 参 考 文 献

- 1 陈启常. 青冈林生产力研究. 杭州: 杭州大学出版社, 1993
- 2 Hirose T, *et al.* Canopy structure and photon flux partitioning among species in a herbaceous plant community. *Ecol.* 1995, 76(2): 466~474
- 3 Monsi M and Saeki T. Über den Lichtfaktor in pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die stoffproduktion. *Jap. J. Bot.* 1953, 14, 22~52
- 4 Federer C A. Spatial variation of net radiation, albedo and surface temperature of forests. *J. Appl. Meteorol.* 1968, 7, 789~795
- 5 Garrett H E. Spatial and temporal variation in carbon dioxide in an oak-hickory forest ravine. *For. Sci.* 1978, 24(2): 180~190
- 6 徐化成. 华北低山侧柏混交林生态学特征研究. 中国林业科学, 1978, 14(3): 25~27
- 7 朱劲伟, 崔启武. 林冠的结构和光的分布——光的吸收理论的探讨. 林业科学, 1982, (3): 258~265
- 8 谭绍清, 黄金龙. 托里枝混交林小气候特点初探. 生态学报, 1985, 5(3): 241~248
- 9 张祝平. 鼎湖山森林群落的光能利用效率. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(2): 139~150
- 10 孙雪峰, 陈灵芝. 暖温带落叶阔叶林辐射能量环境初步研究. 生态学报, 1995, 15(3): 278~286
- 11 洪启法等. 马尾松幼林小气候. 林业科学, 1963, 8(4): 275~288
- 12 姜仕仁等. 便携式多路环境因子测定装置. 生态学杂志, 1994, (6): 62~67