

## 短轮伐期桉树人工林土壤温度特征分析

潘勇军<sup>1</sup>, 王兵<sup>2</sup>, 陈步峰<sup>1</sup>, 陈进<sup>1</sup>, 史欣<sup>1</sup>, 李汉强<sup>3</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;  
3. 西江林业局西江林科所, 广东 肇庆 526060)

关键词: 桉树人工林; 土壤温度; 轮伐

中图分类号: S792.39

文献标识码: A

### Characteristics of Soil Temperature in Short-rotation Eucalyptus Plantation

PAN Yong-jun<sup>1</sup>, WANG Bing<sup>2</sup>, CHEN Bu-feng<sup>1</sup>, CHEN Jin<sup>1</sup>, SHI Xin<sup>1</sup>, LI Han-qiang<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

3. Research Institute of Forestry, Xijiang Forestry Bureau, Zhaoqing 526060, Guangdong, China)

**Abstract:** Based on the data collected from 2008 to 2010 in Eucalyptus plantation of Gaoyao city, Guangdong Province, the annual variation, seasonal variation and daily variation of soil temperature before and after rotation were analyzed. The result showed that the soil temperatures of various layers had a significantly positive correlation with the surface temperature. The annual variation of soil temperature showed a unimodal distribution and the annual amplitude became smaller in deeper layer. The daily variation followed a sinusoid and the daily amplitude became smaller in deeper layer. The peak value appeared later with the increasing of soil depth. The annual amplitude of the soil temperature in 2009 after the rotation (13.58 °C) was smaller than in 2008 before the rotation (15.37 °C). The peak value time appeared 1 hour ahead and the daily amplitude increased.

**Key words:** Eucalyptus plantation; soil temperature; rotation

土壤温度是太阳辐射平衡、土壤热量平衡和土壤热学性质共同作用的结果,具有明显的时空特点<sup>[1-2]</sup>,大气和土壤温差以及土壤之间的温度梯度决定热通量的大小,进而改变地表能量收支,影响大气边界层发展,对土壤中发生的物理、生物、化学过程有很大的影响。森林土壤温度是森林气候的重要环境因素之一,是一种重要的热量资源,其变化特征直接影响着土壤生物的生存和功能的作用,影响植物种子的萌发、生长发育、开花和结果<sup>[3-5]</sup>,特别是对植物的蒸腾、根的呼吸、土壤微生物的活动、凋落物的分解以及土壤肥力等均有重要作用<sup>[6]</sup>。森林土

壤温度的变化不仅受太阳辐射的支配,而且还受林冠阻截再分配的影响,森林的生长过程影响着土壤温度的变化趋势。国内外关于森林植被类型对土壤温度影响的研究很多,注重于气温参数对土壤温度的影响、生物生长过程中土壤温度系统的变化状况、不同土壤利用状况对土壤温度的影响<sup>[7-11]</sup>。高举明等<sup>[6]</sup>研究了西双版纳热带季节雨林的近地层地温,其呈正弦变化趋势地温特征;刘玉洪<sup>[3-4]</sup>、杜尧东等<sup>[5]</sup>研究了云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林土壤温度的分布特征,发现森林对降低高温和提高低温的调温效应显著;孙双峰等<sup>[12]</sup>研究了第二代杉木人

收稿日期: 2010-07-07

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2008-05); 国家科技部“十一五”科技支撑项目(2006BAD03A06-1); 国家科技部社会公益(2003DIB3J116); 国家自然科学基金(30700640); 广州市森林生态效益监测网络研究和国家林业局珠江三角洲森林生态站项目部分内容

作者简介: 潘勇军, 博士生, 助理研究员.

工林群落建成过程中土壤温度特征;杜尧东等<sup>[5]</sup>研究发现,土壤温度振幅小于气温,位相落后;但对桉树人工林土壤温度,尤其是对采伐前后土壤温度变化特征的对比研究鲜见报道。

桉树人工林是我国南方重要的用材林树种,适应性强,速生丰产,采伐更新周期短,因良好的经济效益和社会效益而深受欢迎,种植面积大。桉树人工林的经营对生态环境的利弊已引起广泛的重视,主要侧重于桉树与水及土壤肥力、桉树的生长发育及病虫害等方面的研究<sup>[13-14]</sup>,对于桉树人工林轮伐周期进行土壤温度变化特征的研究较少。本研究从2007年12月起对高要市长坑林场桉树人工林生态系统进行全面系统的气象、土壤等生态因子监测,研究区域于2008年10月进行桉树采伐,其后再利用原根兜萌发生长。本文通过实测资料,对桉树人工林采伐前后不同层次土壤温度时空分布特征进行研究,深入了解桉树人工林采伐对土壤温度的影响及其生长规律,探讨桉树生长过程中各生态环境因子的变化趋势特征,更好的指导桉树人工林的生态经营。

## 1 研究地概况

研究地点位于西江流域中游广东省高要市西江林业局属的长坑林区(112°38'E、23°05'N),属南亚热带季风气候,年平均气温为22℃,每年7—8月最热,1月最冷,历年平均最低气温在11℃以上,年平均积温为8 041℃,无霜期340 d。年平均降水量1 647.9 mm,4—9月降雨最多,占全年降水量的83%,历年平均降雨日为156 d。历年平均日照时数1 801.6 h,年平均湿度在80%左右。一般1—4月吹东北风,5—9月吹东风,10月以后吹东北风,历年平均风速为1.3 m·s<sup>-1</sup>。

土壤为花岗岩发育的赤红壤,土层厚,表土棕色,心土棕红色,土壤普遍呈酸性反应,pH值介于4.5~5.5。林区2000年10月采伐后,炼山清杂和人工挖穴整地,2001年4月种植尾巨桉无性系33-27号(*E. urophylla* × *E. grandis* Clone 33-27),初植密度1 650株·hm<sup>-2</sup>,株行距3.0 m × 2.0 m,期间进行4次施肥抚育,2008年10月采伐,平均胸径23.5 cm,树高24 m,采伐后利用原根兜萌发进行培育。地下植被以含芒萁(*Dicranopteris dichotoma* (Thunb.) Bernh.)、鹧鸪草(*Eriachne pallescens* R. Br.)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk)、岗松(*Baeck-*

*ea frutescens* Linn.)等群落占优势。

## 2 研究方法

本研究利用国家林业局珠江三角洲森林生态系统野外定位研究站设置在高要市长坑林场尾巨桉树人工林的常规气象观测系统中2008—2010年土壤温度观测数据来探讨土壤温度时空变化特征,在10、30、50、70 cm深处土壤中设置4层温湿度传感器、土壤热通量传感器,地面设置5层气象梯度常规观测仪器,数据为自动记录的30 min数据。

利用SPSS统计软件和EXCEL进行数据处理和分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 桉树人工林各层土壤温度与地面2 m气温相关性

对桉树人工林各层土壤温度及与地面2 m气温之间的相关性进行参数与非参数相关性分析表明:各层土壤的温度间存在显著的正相关性。从各层土壤温度变量之间的Pearson简单相关系数和Kendal等级相关系数比较(表1)可以看出:各层土壤温度及气温之间的相关系数在0.01的显著性水平(双边检验)上都非常显著;10~50 cm土壤层间温度相关性最为密切,70 cm土壤层与上层土壤温度相关性相对减弱。土壤温度的高低受地面热量收入多少的支配,以辐射和湍流形式进行热量交换,与地面2 m气温密切相关,与各层土壤温度的相关性随深度增加逐渐降低。

### 3.2 桉树人工林各层土壤温度的年变化特征

从桉树人工林各观测层土壤温度年变化序列图(图1)可以看出:土壤温度随气温的变化而变化,不同深度的土壤温度变化趋势相似,均呈现单峰分布,表现为有规律的波动。各层土壤月平均最低温度,2008年出现在2月,2009年、2010年月最低温度出现在1月;土壤最高温度2008年出现在8—9月,2009年出现在7月。不同层次土壤的最高温度出现时间有一定的差异:2008年10 cm土壤层出现在8月,30、50、70 cm土壤层出现在9月,随深度增加而延迟;2009年各层土壤最高温度均出现在7月。2009年和2010年2—3月区域气温出现反常现象,各层土壤温度也随之发生相应的变化。

表1 桉树人工林各层土壤温度相关性分析

		10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	地面2 m气温
皮尔逊简单相关系数	30 cm	0.999**				
	50 cm	0.999**	0.999**			
	70 cm	0.960**	0.961**	0.964**		
	地面2 m气温	0.986**	0.984**	0.982**	0.934**	
肯德尔等级相关系数	10 cm		0.961**	0.946**	0.852**	0.872**
	30 cm			0.966**	0.872**	0.872**
	50 cm				0.877**	0.857**
	70 cm					0.783**

注: \*\* 相关系数双侧检验显著水平为0.01。

土壤温度年较差是月平均最高气温与最低气温的差值。从表2可看出:桉树人工林50 cm土壤层年平均温度最高,其次是30 cm土壤层,10、70 cm土壤层温度最低;月最高温度出现在30~50 cm土壤层,月最低温度出现在10 cm土壤层。土壤各层温度年较差趋势一致,随深度增加而逐渐减小,10 cm土壤层温度受外界影响最大,年较差最大,70 cm土壤层年较差最小。地面2 m气温年平均温度、月最高温度高于10 cm土壤层,月最低温度相对较低。

采伐前2008年各层土壤的年较差(平均15.37℃)明显大于采伐后的2009年(平均13.58℃),2009年各层土壤年均温度、月最高温度、月最低温度均高于2008年。月最高温度2009年出现在30 cm土壤层,2008年出现在50 cm土壤层,2008、2009年月最低温度均出现在10 cm土壤层。

2008年9—10月,研究区域进行了桉树人工林皆伐,改变了地表状况,也明显改变了土壤的热量状

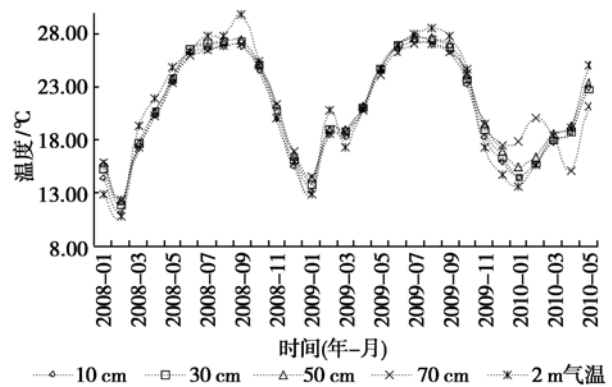


图1 各层土壤温度月变化序列图

况,从而使得皆伐前后土壤温度变化差异较大。由于林冠层的遮蔽,极大地减少了到达地面的辐射能流,进入土壤的热量相应减少,使得2008年热季林内土壤各层最高温度比裸露地(2009年)各层土壤温度相对较低,冬季林内各层土壤最低温度比裸露地各层土壤温度更低,从而造成有林地比裸露地土壤温差大。

表2 不同年份桉树人工林各层的土壤温度

℃

项目	2008年				2009年				
	年平均温度	月最高温度	月最低温度	年较差	年平均温度	月最高温度	月最低温度	年较差	
地面2 m气温	21.5	29.94	10.7	19.24	22.05	28.64	12.79	15.85	
土壤层/cm	10	21.08	26.91	11.12	15.79	21.65	27.34	13.05	14.29
	30	21.65	27.43	11.85	15.58	22.13	27.74	13.77	13.97
	50	21.75	27.45	12.17	15.28	22.30	27.68	14.29	13.39
	70	21.52	27.08	12.26	14.82	21.61	27.18	14.52	12.66

### 3.3 典型月份桉树人工林各层土壤温度的变化特征

比较典型月份(1、2月和8、9月)桉树人工林各层土壤温度变化特征(图2),桉树人工林各层土壤温度1、2月变化趋势基本一致,变化幅度不大,70 cm层土壤温度变化最为平缓;8、9月,各层土壤温度变化趋势明显不同,温度波动幅度比较大,无一定

规律,10 cm土壤层温度最低,且变化最大。

各个季节土壤温度的垂直分布有一定特点,1、2月,土壤温度随土层深度增加而升高,70 cm土壤层温度最高,50 cm层次之,10 cm土壤层温度最低,呈辐射型,显示土壤是作为热源,热量从深层传递到表层。8、9月,30、50 cm土壤层温度最高,10、70 cm土壤层温度较低,土壤上、下层温度垂直分布分别具有

日射型和辐射型特征,但都是从地面开始逐渐向较深的土层传输热量。

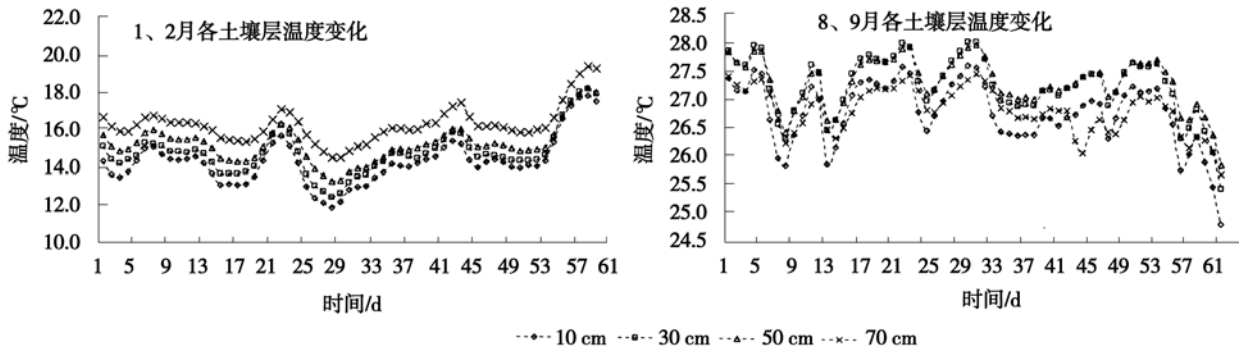


图2 桉树人工林典型月份各层土壤温度变化

### 3.4 桉树人工林土壤温度的日变率

为准确掌握桉树人工林地温的变化特征,利用逐时平均地温,求算了1天中不同深度地温的变化趋势,比较土壤温度最高和最低值及出现的时间。

比较典型月份(1月和7月)各层土壤深度温度24 h的日变化规律(图3)。土壤温度是土壤热平衡

和土壤热性质共同作用的结果,主要来自太阳的辐射,因而出现土壤温度的日变化。各层土壤温度均呈正弦变化<sup>[15]</sup>,愈靠近表层这个变化趋势愈明显。土壤温度的日变化随深度增加而减小<sup>[16]</sup>,10~30 cm土壤层温度变幅较大,随土深增加,温度变幅减小,50和70 cm土壤层温度变化平缓,几乎无昼夜变化。

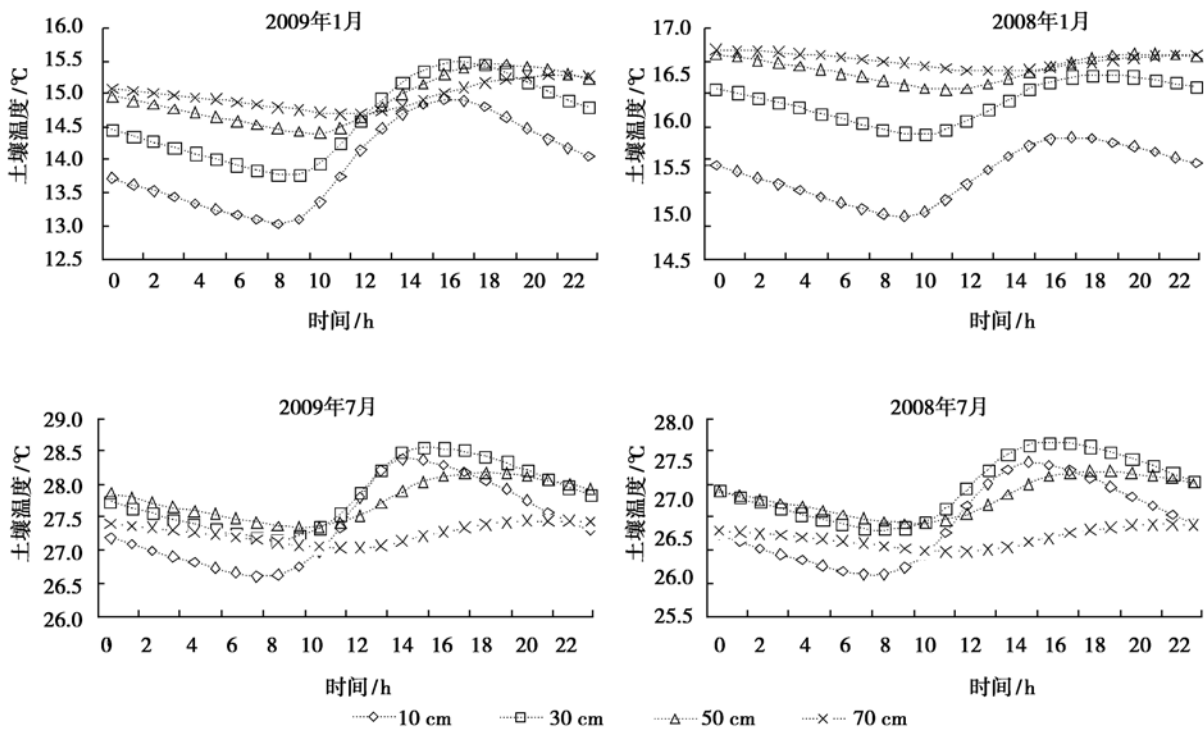


图3 不同年份桉树人工林典型月份土壤温度日变化曲线

在各深度土壤温度的垂直日变化中,不同月份土壤温度状况不一样。1月份:土壤温度随深度增加而升高,10 cm土壤层温度最低,其次是30 cm土壤层,70 cm土壤层温度最高。7月份:各土壤层温

度变化复杂,30和50 cm土壤层温度较高,10 cm土壤层温度较低且变化较大,70 cm土壤层温度最低。

各层土壤温度日变化的最高、最低值出现时刻随深度增加呈现后移现象,30 cm比10 cm土壤层温

度最高值延迟 1 h, 50、70 cm 比 10 cm 土壤层温度最高值延迟达 2~4 h; 50、30、10 cm 土壤层温度的最低值随深度增加依次延迟 1 h, 70 cm 土壤层温度最低值依次延迟 2 h, 显示了不同深度土壤温度日变化的相位存在明显差异, 深度愈深, 土壤温度的最高值及最低值发生时间愈推后, 其落后时间与深度成正比<sup>[17]</sup>。

比较桉树人工林皆伐前后年份各层土壤温度最

高值和最低值的后移时间(表 3)表明: 由于森林林冠的作用, 桉树人工林土壤表层最高温度 2008 年 7 月出现在 15:00 时左右, 1 月在 17:00 时左右, 最低温度 7 月出现在 7:00 时左右, 1 月在 9:00 时左右; 2009 年 1 月皆伐裸露地各层土壤出现最高温和最低温时间比 2008 年同期提前 1 h, 2009 年 7 月土壤各层最高温度出现时间比 2008 年度早 1 h (50 cm 除外), 最低温度出现时间相差不大。

表 3 不同年份桉树人工林各层土壤温度的最高值和最低值及其出现时刻

土壤层/cm	2008 年 1 月					2009 年 1 月				
	最高值/℃	时刻	最低值/℃	时刻	差值/℃	最高值/℃	时刻	最低值/℃	时刻	差值/℃
10	15.81	17:00	14.95	9:00	0.87	14.91	16:00	13.03	8:00	1.89
30	16.50	18:00	15.85	10:00	0.65	15.48	17:00	13.78	9:00	1.70
50	16.71	20:00	16.33	11:00	0.39	15.45	19:00	14.42	10:00	1.03
70	16.76	0:00	16.53	13:00	0.23	15.27	20:00	14.70	11:00	0.57
土壤层/cm	2008 年 7 月					2009 年 7 月				
	最高值/℃	时刻	最低值/℃	时刻	差值/℃	最高值/℃	时刻	最低值/℃	时刻	差值/℃
10	27.48	15:00	26.04	7:00	1.44	28.42	14:00	26.64	7:00	1.78
30	27.74	16:00	26.61	8:00	1.13	28.59	15:00	27.20	8:00	1.39
50	27.36	18:00	26.69	9:00	0.67	28.21	18:00	27.38	9:00	0.83
70	26.68	22:00	26.34	11:00	0.34	27.49	21:00	27.08	11:00	0.41

不同月份桉树人工林各层土壤温度变化趋势随深度变化存在差异: 2008 年 1 月各层土壤日最高温度呈现随深度增加升高的趋势, 但 2009 年 1 月各层土壤日最高温度 30 cm 土壤层温度最高; 日最低温均呈现随深度增加而升高的趋势; 7 月各层土壤温度变化趋势相同, 日温度最高值出现在 30 cm 层土壤, 其次是 10 cm 土壤层, 70 cm 土壤层温度最低; 日温度最低值出现在 10 cm 土壤层。

桉树人工林各层土壤温度日变化幅度随深度增加而减小(表 3), 10 cm 土壤层温度波动变化幅度最大, 其次是 30 cm 土壤层, 70 cm 土壤层温度变化最为平缓; 7 月份土壤层温度日变化幅度差异较大, 10~50 cm 土壤层达到 1~2 ℃。

2009 年各层土壤温度日变化幅度大于 2008 年, 尤其是 1 月份, 10 cm 土壤层温度波动变化幅度差异最大(2009 年为 1.89 ℃, 2008 年为 0.87 ℃), 其次是 30 cm 土壤层(2009 年为 1.70 ℃, 2008 年为 0.65 ℃); 7 月份, 土壤温度波动日变化幅度差异相对较小, 10 cm 土壤层 2009 年为 1.78 ℃, 2008 年为 1.44 ℃, 30 cm 土壤层的日变化幅度相近, 差异远小于 1 月份, 70 cm 土壤层温度日变化幅度比较平缓, 差异不大。

## 4 结论与讨论

土壤温度的变化是土壤热平衡和土壤热性质共同作用的结果<sup>[2]</sup>, 土壤热量主要来自太阳的辐射, 随季节变化而变化, 因而造成土壤温度的年变化。随着太阳辐射昼夜或季节变化, 地表温度亦随之发生周期变化。桉树人工林土壤温度年变化趋势呈单峰分布, 表现为有规律的波动, 土壤温度年较差随深度增加而减小。夏季各层土壤温度波动幅度较大, 尤其是 10 cm 表层土壤, 热量从地面向较深层土壤传输。冬季变化幅度不大, 深层土壤温度变化平缓, 土壤温度随深度增加而升高, 热量从深层向表层传递, 呈辐射型。

各层土壤温度日变化呈正弦变化, 白天土壤表面由于吸收太阳辐射而增温, 并通过分子热传导向深处传递热量; 夜间, 土壤表面因有效辐射而首先冷却, 热量便从土壤深处向上输送。土壤温度的变化首先从土壤表面开始, 然后逐渐影响深层土壤温度的变化, 其变化幅度随深度的增加而减少, 而且最高、最低温度出现的时间也随土壤深度增加愈来愈推后, 30 cm 比 10 cm 土壤层温度最高值延迟 1 h, 50、70 cm 比 10 cm 土壤层温度最高值延迟达 2~4 h; 50、30、10 cm 土壤层温度最低值随深度增加依次

延迟 1 h, 70 cm 土壤层温度最低值依次延迟 2 h。

植被覆盖对温度的传导有隔断能力,能隔断一大部分辐射能,裸露地表比植被覆盖的土壤升温快,降温也迅速。2009 年(轮伐后)土壤最高温和最低温出现月份比 2008 年(轮伐前)提前 1 个月,2008 年各层土壤平均年较差(15.37 ℃)明显大于 2009 年(13.58 ℃)。

土壤导温率直接决定着土壤温度的垂直分布及最高、最低温度出现的时间,植被皆伐后,土壤表层失去植被保护,土壤水分减少,干燥疏松,土壤热容量小,得热或失热,升降温都迅速而显著,使 2009 年各层土壤日变化幅度明显大于 2008 年同期,尤其是在 1 月,各层土壤温度日变化幅度差异显著,出现最高温和最低温的时间也比 2008 年提前 1 h。

桉树人工林采伐前后,土壤环境因子变化较大,对土壤的理化性质影响巨大。随着其萌发、生长、轮伐的短周期生长过程,土壤、生物系统各项指标的改变和适应,其功能和结构的研究需进一步深入,以便更好地指导桉树人工林的生态经营。

#### 参考文献:

- [1] 北京林业大学. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,1981:166-169
- [2] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:42-45
- [3] 刘玉洪. 哀牢山北段山地的地温气候资源分析[J]. 自然资源学报,1993,8(2):158-165
- [4] 刘玉洪. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林土壤温度的分布特征[J]. 林业科学,1991,27(6):639-643
- [5] 杜尧东,刘锦鑫,何健. 广州地区蔬菜田土壤温度变化特征及其预报模型研究[J]. 生态学杂志,2005,24(9):1021-1024
- [6] 高举明,张一平,于贵瑞,等. 西双版纳热带季节雨林地温特征[J]. 生态学杂志,2008,27(6):880-887
- [7] Green F H W, Harding R J, Oliver H R. The relationship of soil temperature to vegetation height [J]. *Climatology* 4, 1984: 229-240
- [8] Rodskjer N, Tuveesson M, Wallsten K. Soil temperature during the growth period in winter wheat, spring barley and ley compared with that under a bare soil surface at Ultuna, Sweden [J]. *Swedish J Agric Res*,1989, 19: 193-202
- [9] Pierson F B, Wight J R. Variability of near-surface soil temperature on sagebrush range land [J]. *Range Management*, 1991, 44 (5): 491-497
- [10] Pradel E, Pieri P. Influence of glass layer on vineyard soil temperature [J]. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2000, 6(1): 59-67
- [11] Iverson, L R, Hutchinson, T F. Soil temperature and moisture fluctuations during and after prescribed fire in mixed-oak forests, USA[J]. *Natural Areas Journal*,2002, 22(4): 290-304
- [12] 孙双峰,田大伦,康文星. 第二代杉木人工林土壤温度的研究[J]. 中南林学院学报,2000,20(1):22-26
- [13] 余雪标,徐大平,龙腾,等. 连栽桉树人工林生长特性和林冠结构特征[J]. 林业科学,2000,36(专刊1):137-142
- [14] 黄志宏,周国逸,张宁南,等. 用典型相关法分析桉树人工林干季土壤水分影响因子[J]. 林业科学,2003,39(5):10-17
- [15] 邵明安,王全九,黄明斌,等. 土壤物理学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:176-179
- [16] 薛建辉. 森林生态学[M]. 北京:中国林业出版社,2006:31-33
- [17] 崔学明. 农业气象学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:42-45