

水喷淋对防火林带土壤温湿度的影响^{*}

丁 丹¹ 陈钰皓¹ 陈雄伟¹ 何莹泉¹ 王振师² 刘锡辉³

(1. 广东省林业调查规划院, 广东 广州 510520; 2. 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520; 3. 广东省岭南综合勘察设计院, 广东 广州 510663)

摘要 采用水喷淋方式, 对防火林带喷淋 1 h, 连续测量喷淋前 52 h 至喷淋后 70 h 的土壤温度和湿度, 对其进行差异性和变化趋势分析。结果表明, 水喷淋前后的林内土壤温度和湿度差异显著 ($P < 0.05$), 喷淋后林内土壤温度下降最大值为 1.8 °C, 降幅 9.5%, 降温效果维持 114.4 min; 林内土壤湿度升高最大值为 11.3 个百分点, 增幅 148.7%, 加湿效果维持 3 d。

关键词 水喷淋; 防火林带; 土壤温度; 土壤湿度

中图分类号: S762.3 文献标识码: A 文章编号: 2096-2053 (2017) 02-0066-05

Effects of Water Spray on Soil Temperature and Humidity in the Fire Forest Belt

DING Dan¹ CHEN Yuhao¹ CHEN Xiongwei¹ HE Yingquan¹
WANG Zhenshi² LIU Xihui³

(1. Guangdong Forestry Survey and Planning Institute, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 2. Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 3. Lingnan Integrated Exploration and Design Institute of Guangdong, Guangzhou, Guangdong 510663, China)

Abstract The paper researched the effects of soil temperature and humidity after 1 h water spray on fire forest belt. The water spray method was used to measure the soil temperature and humidity from 52 h before spraying and 70 h after spraying, and then the difference and change trend were analyzed. The results showed that the soil temperature and humidity were significantly different ($P < 0.05$) before and after water spray. The soil temperature decreased by only 1.8 °C, an decrease of 9.5% and the effect was maintained at 114.4 min. The soil humidity increased by 11.3%, an increase of 148.7%, and the effect was maintained 3 days.

Key words water spray; fire forest belt; soil temperature; soil humidity

森林可燃物载量大, 森林火险等级极高, 火强度高, 扑火极其危险^[1]。据统计, 全国每年发生的森林火灾中, 有 99%^[2] 是人为因素引起, 森林公园由于开展旅游活动和存在一定的生活用火而容易产生森林火险, 人员密集的森林公园等景区防火形势异常严峻^[3]。利用水灭火是最原始的灭火方法, 也是最适合森林灭火的方法之一, 是

林业发达国家首选的林火扑救方式^[3]。在森林公园中设置喷淋防火林带, 通过喷淋系统喷洒的水雾, 能使林内空间和物体迅速降温、增湿, 达到加强防火林带防火性能的目的, 特别在高危森林火灾时期通过对防火林带进行喷淋灌溉, 能大幅提高防火林带的防火能力^[4]。本文通过研究水喷淋对防火林带林内土壤温度和湿度的影响及其变化

^{*} 基金项目: 广东省林业科技计划项目“广东省森林生态旅游区森林防火系统集成研究”(2012-02)。

第一作者: 丁丹(1971—), 男, 高级工程师(教授级), 主要从事林业产业和木材工业规划设计咨询工作, E-mail: dingdan001@163.com。

趋势,旨在为喷淋防火林带建设提供可参考的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在广东省东莞市大屏嶂森林公园森林防火系统研究示范基地内。基地属南亚热带季风气候,年平均气温 21.8 ℃,1、2、12 月极端低温为 3.1 ℃,7—8 月极端高温为 37.5 ℃,夏秋多雨,春冬干旱,4—8 月为雨季。基地林带为阔叶混交林,树龄为 15~20 a,林层结构为复层林,林带平均郁闭度为 0.7。优势树种为马占相思 (*Acacia mangium*),乔木层分为两层,第 I 层树种为马占相思,平均胸径 28.0 cm,平均树高 18.1 m,枝下高 8 m,蓄积量 $189.6 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,占林分总蓄积的 67.54%;第 II 层树种为阴香 (*Cinnamomum burmannii*)、荷木 (*Schima superba*)、樟木 (*Cinnamomum camphora*),平均胸径 10.5 cm,平均树高 9.3 m,枝下高 3.7 m,蓄积量 $91.1 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,占林分总蓄积的 32.46%。林带下枯枝落叶的平均厚度为 4.3 cm。

1.2 试验仪器

(1) 喷头型号为 46 H;喷水量: $4.8 \text{ m}^3/\text{h}$;水压: 40 m;射程 21 m^[5]。

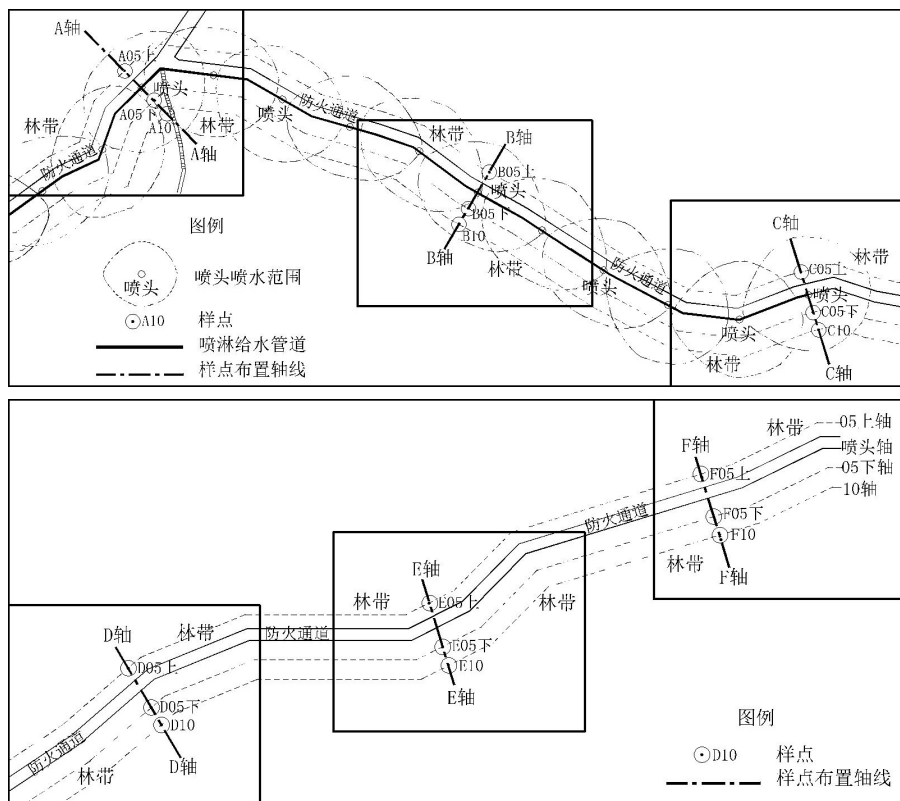
(2) 土壤水分温度测定仪为大连哲勤科技有限公司生产的 Takeme-10。

(3) 空气湿度和温度测定仪为德国 testo 610。

1.3 试验方法

1.3.1 样地设置 试验基地由相邻 2 段林带组成,林带长 300 m,其中一段设为喷淋样地,每 20 m 安装一个射程 21 m 的喷头,在喷淋样地内每隔 100 m 抽取 1 个喷头,共抽取 3 个喷头,以喷头为中心作林带的垂线,分别设置 A、B 和 C 共 3 个取样轴;另一段为不设置喷淋的对照样地,在对照样地内每隔 100 m 分别作林带的垂线,设置 D、E 和 F 共 3 个取样轴。在每个取样轴上距离喷头坡上 5 m、坡下 5 m 和坡下 10 m 处各设置一个数据取样点,共设取样点 18 个(图 1)。各样点林相、地理位置、坡向、朝向、海拔等均具有比相对相似性。

1.3.2 测定方法 试验采用按时段观测的方法对 18 个样点进行实测,每个样点设置土壤样袋一



注: 图中 A05 上为 A 轴喷头上坡 +5 m, A05 下为 A 轴喷头下坡 +5 m, A10 为 A 轴喷头下坡 +10 m 处。

图 1 东莞森林防火系统研究示范基地喷淋和对照样地样点布置

个。使用土壤水分温度测定仪测量样点土壤的实时湿度和温度；使用空气湿度和温度测定仪测量样点大气的实时湿度和温度。根据广东省森林火灾主要集中在 2—3 月（春耕春种）和 11—12 月（秋收冬种）、时段主要集中在 14:00—17:00 时的特点^[5]，采样测量日期设定为 2016 年 2 月 27 日 9:00 时至 3 月 3 日 11:00 时，测量时间全程 122 h，即喷前 52 h 及喷后 70 h，测量间隔为 2 h。2 月 29 日 12:00 时开始喷淋，喷淋时间 1 h，喷淋强度为 3.2 L/m²。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 软件统计和分析数据，采用 SPSS20.0 软件进行数据显著性差异等分析。

2 结果与分析

2.1 水喷淋对土壤温度的影响

对喷淋前、喷淋后以及整个实测期喷淋样地与对照样地土壤温度分别进行统计分析得出：喷淋前，喷淋样地林内土壤平均温度为 16.0 ℃，对照样地为 16.4 ℃；喷淋后，喷淋样地林内土壤平

均温度为 16.6 ℃，对照样地为 17.5 ℃；整个实测期内，喷淋样地林内土壤平均温度为 16.3 ℃，对照样地为 17.0 ℃（表 1）。统计结果表明，无论是整个实测期还是喷淋前或喷淋后，喷淋样地与对照样地林内土壤温度之间均有显著差异（ $P < 0.05$ ）。喷淋前，喷淋样地林内土壤平均温度低于对照样地 0.4 ℃；喷淋后，喷淋样地林内土壤平均温度低于对照样地 0.9 ℃。

喷淋后，即 2 月 29 日 13:00—15:00 时，喷淋样地林内土壤温度明显低于对照样地及实时大气温度，除了以上这段时间，林内土壤温度变化规律与实时大气温度基本吻合；喷淋前和喷淋后，喷淋样地林内土壤温度均低于对照样地林内土壤温度（图 2）。喷淋后（2 月 29 日 13:00 时）喷淋样地林内土壤平均温度为 17.1 ℃，低于对照样地林内土壤平均温度 4.5 ℃，低于实时大气温度 5.9 ℃。之后，喷淋样地林内土壤平均温度与对照样地之间的差距随着时间推移逐渐缩小，并在 114.4 min 后，两者差值与喷淋前一致，为 0.4 ℃。

2.2 水喷淋对土壤湿度的影响

对喷淋前、喷淋后以及整个实测期喷淋样地

表 1 东莞森林防火系统研究样地喷淋前后土壤温度

时段	统计样本	测量次数	土壤温度 /℃					
			平均值	平均数标准误差	标准差	方差	最小值	最大值
喷淋前	喷淋样地	12	16.0	0.5	1.7	3.0	13.3	18.9
	对照样地	12	16.4	0.6	2.1	4.2	13.5	19.9
喷淋后	喷淋样地	15	16.6	0.4	1.4	2.1	13.7	18.6
	对照样地	15	17.5	0.5	1.8	3.1	14.3	21.6
实测期	喷淋样地	27	16.3	0.3	1.6	2.5	13.3	18.9
	对照样地	27	17.0	0.4	2.0	3.8	13.5	21.6

注：表中统计的实测值均为平均值。

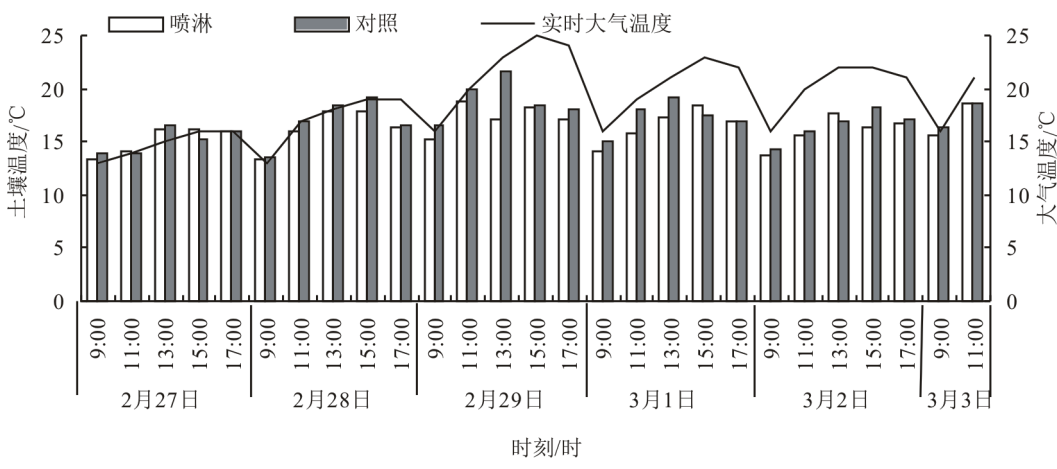


图 2 东莞森林防火系统研究基地喷淋与对照样地土壤温度比较

与对照样地土壤湿度分别进行统计分析得出：喷淋前，喷淋样地林内土壤平均湿度为 10.5%，对照样地为 8.8%；喷淋后，喷淋样地林内土壤平均湿度为 14.7%，对照样地为 8.6%；整个实测期，喷淋样地林内土壤平均湿度为 12.8%，对照样地为 8.7%（表 2）。

统计结果表明，无论是整个实测期还是喷淋前或喷淋后，喷淋样地林内土壤湿度与对照样地之间均有显著差异（ $P < 0.05$ ）。喷淋前与喷淋后，喷淋样地林内土壤湿度均高于对照样地林内土壤湿度。喷淋前，喷淋样地林内土壤平均湿度高于对照样地 1.7 个百分点；喷淋后，喷淋样地林内土壤平均湿度高于对照样地 6.1 个百分点。

喷淋后，2 月 29 日 13:00 时至 3 月 3 日 11:00 时，喷淋样地林内土壤湿度明显高于对照样地，（图 3）。喷淋后（2 月 29 日 13:00 时）喷淋样地林内土壤平均湿度为 18.9%，高于对照样地 13.2 个百分点，低于实时大气湿度 12.1 个百分点，喷淋样地林内土壤平均湿度与对照样地之间的差距随着时间推移逐渐缩小。

2.3 林内土壤湿度变化趋势分析

对林内土壤湿度建立曲线模型，推测变化趋势，找出喷淋后喷淋样地与对照样地林内土壤湿度恢复到喷淋前状态的时间点，确定在受到喷淋的影响下林内土壤湿度变化情况的持续时间。利用实测期（2 月 27 日 9:00 时至 3 月 3 日 11:00 时）的林内土壤湿度对测点次数回归，其中 2 月 27 日 9:00 时取值为 1，3 月 3 日 11:00 时为 27。由于喷淋前后林内土壤湿度有明显差异，因此，针对喷淋样地，需要采用分段函数进行模拟，即分为喷淋样地喷前（ y ）、喷淋样地喷后（ y_1 ）和对照样地（ y_2 ）3 个模型。

土壤湿度与测点次数存在本质线性关系，以土壤湿度（ y ）与测点次数（ x ）对其做模型拟合。在 SPSS 中对土壤湿度变化值进行回归分析，得出土壤湿度与测点次数的函数关系（表 3）。

根据土壤湿度与测点次数的函数关系绘制土壤湿度变化趋势模拟图（图 4），喷淋前，喷淋样地土壤湿度平均值比对照样地土壤湿度平均值高 1.7 个百分点。据式 1、2，当 $x=27.18$ ， $y_1=12.67$ ， $y_2=10.98$ ， $10.98-12.67=1.69$ ，即此时喷淋样地、

表 2 东莞森林防火系统研究样地喷淋前后土壤湿度

时段	统计样本	测量次数	土壤湿度 / %					
			平均值	平均数标准误差	标准差	方差	最小值	最大值
喷淋前	喷淋样地	12	10.5	0.5	1.6	2.6	7.6	12.7
	对照样地	12	8.8	0.3	1.1	1.1	7.3	10.9
喷淋后	喷淋样地	15	14.7	0.4	1.7	2.8	12.6	18.9
	对照样地	15	8.6	0.4	1.7	3.0	5.7	11.2
实测期	喷淋样地	27	12.8	0.5	2.6	7.0	7.6	18.9
	对照样地	27	8.7	0.3	1.4	2.1	5.7	11.2

注：表中统计的实测值均为平均值。

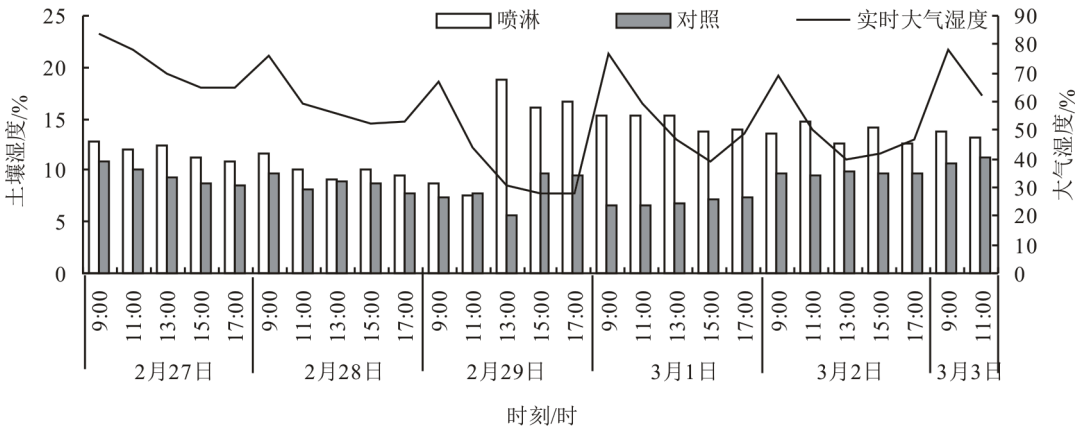


图 3 东莞森林防火系统研究基地喷淋与对照样地土壤湿度比较

表 3 土壤湿度与测点次数的函数关系

模型	样地	时段	拟合模型	R^2	Sig.	x^2	$x^2_{0.01}(n-1)$	备注
1	喷淋	喷淋前	$y=13.707-0.86x+0.098x^2-0.006x^3(1\leq x\leq 12)$	0.950	0.005	0.17	13.28	$n=4$
2	喷淋	喷淋后	$y_1=e^{2.227+8.483/x}(13\leq x\leq 27)$	0.833	0.000	0.11	13.28	$n=4$
3	对照	实测期	$y_2=11.046-0.519x+0.019x^2(1\leq x\leq 27)$	0.529	0.002	0.53	20.09	$n=8$

对照样地的土壤湿度与喷淋前趋于一致； x 取整为 27 次（即 3 月 3 日 11:00 时），从喷淋时间点（2 月 29 日 13:00 时）开始算起，喷淋样地土壤湿度维持 3 d。

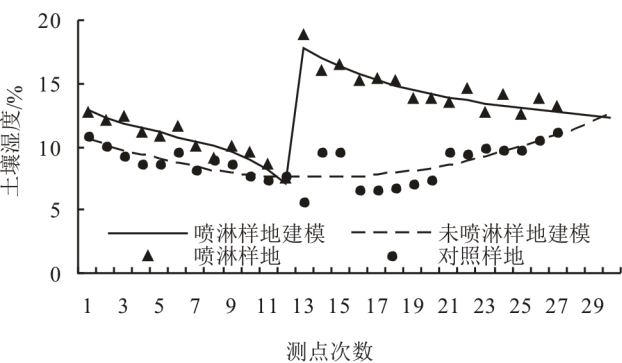


图 4 喷淋样地土壤湿度变化趋势模拟

3 结论与讨论

试验表明，水喷淋对土壤的温度影响相对较小，对土壤的湿度影响相对较大。喷淋 1 h 后，林内土壤温度下降 1.8 ℃，降幅 9.5%，降温影响维持 114.4 min；林内土壤湿度最大升高了 11.3 个百分点，增幅达 148.7%，加湿影响维持 3 d。通过 1 h 的水喷淋，能有效降低喷淋区域林内土壤的表面温度，增加林内土壤的表面湿度，降低区域内地

面可燃物的危险性，减少地下火和地表火^[7]的危害，从而提高喷淋防火林带的防火能力。

本次试验采用相同的喷淋水量进行测试，没有比较不同喷淋水量所带来的变化，喷淋水对土壤温湿度的影响是否有上下极限，是否有最佳喷淋水量，这也将是我们下一步研究的方向。

参考文献

[1] 李小川,王振师,李兴伟,等. 广东森林消防立体灭火技术研究与应用[J].广东林业科技,2013,29(3): 13-20.

[2] 姚树人,文定元.森林消防管理学[M].北京: 中国林业出版社,2002.

[3] 陆国锋.森林防火通道水消防系统的设计[J].中国给水排水,2008,24(20): 27-30.

[4] 陈雄伟,何莹泉,陈钰皓,等.大屏嶂森林公园消防系统设计[J].广东林业科技,2014,30(2): 63-68.

[5] 李小川,李兴伟,王振师,等.广东森林火灾的火源特点分析[J].中南林业科技大学学报,2008,28(1): 89-92.

[6] 何莹泉,陈雄伟.一种应用于森林的带喷淋系统的复合防火林带: ZL 2015 2 0845494.3[P]. 2015-10-27.

[7] 吴焕忠,付海真,叶雪凌,等.森林公园和风景名胜区防火林带建设的研究[J].中南林业调查规划,2006,25(2): 56-58.