

塔里木沙漠公路防护林的温度和湿度效应研究

王海峰^{①②}, 雷加强^①, 李生字^①, 范敬龙^{①②}, 李应罡^{①②}, 孙树国^{①②}, 常青^①

① 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

② 中国科学院研究生院, 北京 100049;

③ 中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司, 库尔勒 841000

E-mail: wanghaif04@mails.gucas.ac.cn

2007-09-02 收稿, 2008-06-2 接收

中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX3-SW-342)、国家自然科学基金项目(批准号: 40701098)、新疆维吾尔自治区重大科技专项(200733144-3)、中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-13)、中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(20052118)和中国科学院新疆生态与地理研究所绿洲学者“博士人才”计划项目资助

摘要 在塔克拉玛干沙漠腹地采用多个 HOBO 温湿度自动观测仪器进行同步观测的方式, 对极端干旱区防护林小气候中的气温、湿度分别进行了水平和垂直两个尺度上的观测. 结果表明: 沙漠公路防护林生态系统具有稳定近地层空气气温和提高空气湿度等典型的小气候调节作用. 太阳辐射对防护林温湿度影响显著, 辐射强度的大小与气温呈正相关, 与空气湿度负相关, 在阴天时林带保温保湿效果明显; 防护林对周围环境的影响较显著, 防护林带内小气候具有降温保湿的特征: 林内气温总是小于原始沙地, 林内湿度总是大于原始沙地, 林边气温升降幅度大于原始沙地, 林边湿度总是大于原始沙地. 并且计算得出防护林垂直影响范围温度 4~10 m, 湿度 6~8 m; 水平影响范围温度 16 m, 湿度 24 m 左右.

关键词

防护林
极端干旱地区
小气候
温湿度
边界

防护林是一种人工建立的改造自然环境并使环境更能够达到人类预想的生态措施. 它一般存在于受保护区域的最边缘, 抵御着外部各种环境状况强烈的变化. 例如农田防护林、海岸防护林、公路防护林、城市外围防护林以及“三北”防护林. 防护林的存在, 不仅可以抵御恶劣的天气状况, 同时也能改善防护范围内的生态环境. 防护林减弱了气流的交换作用, 降低了地表长波的冷却作用, 同时林冠还增加了林内地表的粗糙度, 从而使林内地面吸热能力降低, 辐射散热作用加强. 防护林对其所在区域的小气候环境具有明显的改善作用, 如降低气温变幅、增加湿度^[1~4]. 这些变化在高温、干旱、大风等灾害性天气时会更显著^[5,6]. 总体表现为白天林内气温比林外低, 而在晚上林内气温比林外高^[7~10]. 旷地由于接受较多的太阳辐射和降水, 失去较多的长波辐射, 表现出较高的蒸散率, 因此林外空旷地空气相对湿度也比林内空气相对湿度低, 且变化幅度比林内的变化幅度大^[11,12]. 林内湿度总是大于林外湿度, 日动态一般呈

“U”或“V”型变化, 防护林湿度与气温成负相关, 即湿度越高林内气温越小, 而在白天也与太阳辐射强度呈负相关^[13~15].

在干燥、炎热的塔克拉玛干沙漠腹地, 夏季降水稀少、光照丰富、地表物质热容能力差, 使得白天的地表温度远远高于空气气温, 夜晚地表温度又低于空气温度. 为了保障沙漠公路交通安全, 建立的沙漠公路生物防护体系, 它不仅在防止风沙危害公路方面作用显著, 而且在改善局部小气候以适合人类生存中起了很大的作用.

目前国内外关于防护林小气候的研究主要集中在农田防护林、城市绿化带和其他人工林, 而对于地处极端干旱的线状防护林体系小气候效应的相关研究比较少. 本文通过对塔里木沙漠公路原始流沙地、防护林地内温度和湿度的测定, 在比较分析两种典型下垫面温度与湿度的研究基础上, 阐明位于塔里木沙漠公路防护林生态工程的温度与湿度的小气候效应, 以期为深入探讨该生态系统的功能, 以及正确

评价防护林改善小气候的功能提供理论依据。

1 研究区域概况

塔克拉玛干沙漠腹地, 气候干燥, 降水稀少, 年降水量一般不足 50 mm, 但年蒸发量高达 3000 mm 左右. 7 月份的平均相对湿度为 35%, 最小相对湿度为 0^[16]. 夏季酷热, 极端最高温度达 44.5℃, 地表温度最高达 73℃. 自然植被种类贫乏, 在塔中地区有 9 种, 群落结构简单, 盖度极低, 绝大多数地区无植被分布.

沙漠公路防护林穿越流动沙漠段长 436 km, 防护林宽 72~78 m, 林带总面积 3128 hm², 树种以抗逆性极强的怪柳、沙拐枣、梭梭等优良防风固沙灌木为主, 水源为沙漠公路沿线的高矿化度(2~30 g·L⁻¹)地下水, 灌溉方式为滴灌.

2 实验方法

本次实验场地设置在塔中四油田作业区丁字路口处, 由于此地需要重点防护, 所以 1995 年在公路上风向栽植延伸至公路边缘达 50 m 的固沙林带. 至 2006 经过的 11 年的成长, 防护林已经完全郁闭, 固沙林覆盖度>90%, 林带平均高度 2.5 m, 正值壮年期长势良好, 可以认为这段防护林能代表干旱地区线状防护体系.

7 月底至 9 月中旬, 塔中天气活动状况比较稳定, 降水稀少, 而且气温与太阳辐射等影响因子变化幅度不大. 因此将此时间段作为本试验的观测时段. 实验仪器采用具有精度高、可存数据量大、体积小等优点的 HOBO 温湿度探头(HOBO Pro Series Temp, RH(C) 1998 ONSET)进行观测.

本次实验分两阶段进行, 第一阶段于 2006 年 7 月 24 日开始至 8 月 21 日结束, 共运行 28 天, 主要目的是采集垂直方向上的温湿度数据; 第二阶段于 8 月 22 日至 9 月 11 日, 共运行 20 天, 主要目的采集由固沙林至原始沙地不同距离上的温湿度数据. HOBO 探头设置步长 30 min, 每半小时采集一次 30 min 内的平均温湿度数据.

2.1 垂直实验设置

为了研究近地表垂直方向上的温度与湿度的差异, 分别在防护林地中间地带及上风向距林带约为 100 m 的流沙地(由于距林带较远, 可以视为不受防护林带影响)各架设支架一套, 每套支架上各固定 4

组 HOBO 温湿度探头, 探头高度分别为距地表 2, 4, 6 和 8 m(如图 1).

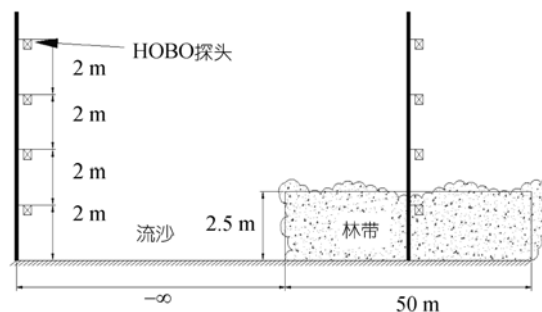


图 1 垂直实验设置

2.2 水平实验设置

为了阐明防护林带水平方向上温度与湿度的影响边界, 分别在距林带 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 和 28 m 处各架设一组支架, 距地表 1 m 高处架设 HOBO 温湿度探头. 由于林带外缘 28 m 处流沙地地势较为平坦且处于林带的上风向, 所以应视为不受林带影响的自然流沙地(图 2).

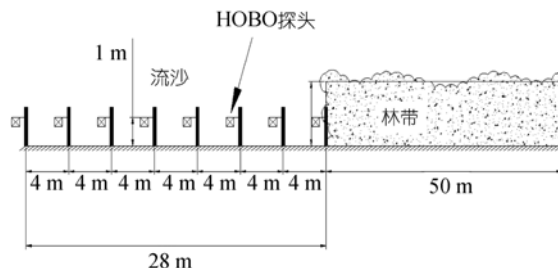


图 2 水平实验设置

3 结果与分析

塔里木腹地太阳辐射强烈, 日照时间长, 空气干燥, 地表多为细粉沙, 沙物质导热差、热容比较低. 其基本热特征为在太阳辐射情况下迅速升温, 太阳辐射减少或者阳光被云或沙尘暴遮蔽便很快以长波辐射的形式释放出能量, 所以沙漠地区昼夜温差和湿度差起伏较大. 但是, 塔里木沙漠公路防护林体系建立后, 在防护林带体系附近昼夜温差变化幅度一定程度降低, 防护林降温、增湿的效果也比较显著. 以下对自然流沙地与防护林地二者在垂直高度上与水平方向上以及在不同天气条件下的温度与湿度特征进行分析.

3.1 自然流动沙面近地表温度和湿度的日垂直变化特征

(i) 气温日变化. 从总体上看流沙地气温变化较单一, 各层之间气温变化差异不大(图 3), 最大值出现在 17:30(北京时间, 下同)的 2 m 高度上 36.82℃, 与 8 m 高度上的温度差为 0.37℃, 占 2 m 高气温的 0.01%, 差异不明显. 最小值也是出现在 08:00 的 2 m 高度 23.35℃, 与 8 m 高度温度差为 0.25℃, 二者之间差异占 8 m 高度气温值的 0.01%, 差异也不明显.

方差分析表明, 在 4 个高度上的温度差异明显(0.05), 但从表 1 多重比较结果中可看出, 这种差异主要体现在 8 m 高度与其他高度之间. 8 m 标记为 B, 其均值小于其他三层; 2, 4 和 6 m 高度上的气温特征相似, 字母标记表示为 A. 由此可见, 气温受地表长波辐射影响很明显, 随着高度的增加标准差和温度均值都在降低.

表 1 四层高度上温度检验结果

温度分析	均值	标准差	1%极显著水平
流沙 2 m 高度	31.06	4.59	A
流沙 4 m 高度	31.06	4.51	A
流沙 6 m 高度	31.06	4.44	A
流沙 8 m 高度	30.95	4.40	B

流沙地各个层次上的气温升降过程极其明显, 09:00~10:00 之间接近相同. 10:00~18:00 是上升过程, 在此过程中上升的速率一致. 第一上升阶段以 14:00~16:00 为例. 同一时间气温, 流沙高度 2 m 最大, 8 m 最小, 最大差别相对于全天气温变化来说也只相差 3.29%; 上升结束, 2, 4 和 6 m 高度气温于

22:00 交叉, 8 m 高度上在 00:00 与其他 3 个高度相交在一起, 这一交点的存在是由于地表气温下降后产生的逆温层所造成, 此后 8 m 高度上气温大于 2 m 高度的气温; 第一下降阶段以 02:00~04:00 为例, 2 m 高度的气温下降最快.

由以上分析可以得出, 流沙地在正常光照情况下气温变化的规律是越近地表温度起伏越大, 在只有沙砾的裸露地面上, 地表的气温对近地表的气温变化具有显著的影响, 并且林外空气气温的日平均值与林外辐射日总量有显著的线性关系^[17], 而 8 m 高度上以上的空气温度受地表影响不显著.

(ii) 湿度日变化. 流沙湿度总体上为 2 m 高度湿度一直小于 6 和 8 m 高度的湿度值(图 4). 这是由于没有植被覆盖的沙物质易受到太阳直接辐射, 使得地表沙物质增温降低了流沙表层含水率, 进而引起近地表层空气湿度的降低. 由于 8 m 高度上的空气湿度与 6 m 高度的空气湿度完全一致, 因此, 可以认为不受地表长波辐射影响. 湿度最小值出现在 17:30 8 m 高度处, 为 10.01%, 最大值出现在 08:00 的 6 m 高度, 为 29.44%.

从北京时间 09:00 开始, 太阳辐射逐渐增强, 至北京时间 12:00 左右达到最大值, 北京时间 14:00 左右地面长波辐射也达到最大值. 因此在 08:00 至晚 20:00 这段时间内持续的对近地表的空气湿度造成显著的影响, 2 m 高度和 8 m 高度上的空气湿度差距最大, 而极值出现在北京时间的 12:00, 差值为 1.83%相当于 8 m 高度上湿度的 14%, 20:00 的时候太阳辐射停止, 地面长波辐射继续散发热量, 继续在影响其范围之内的大气湿度, 最终至次日 09:00 各个高度湿度基

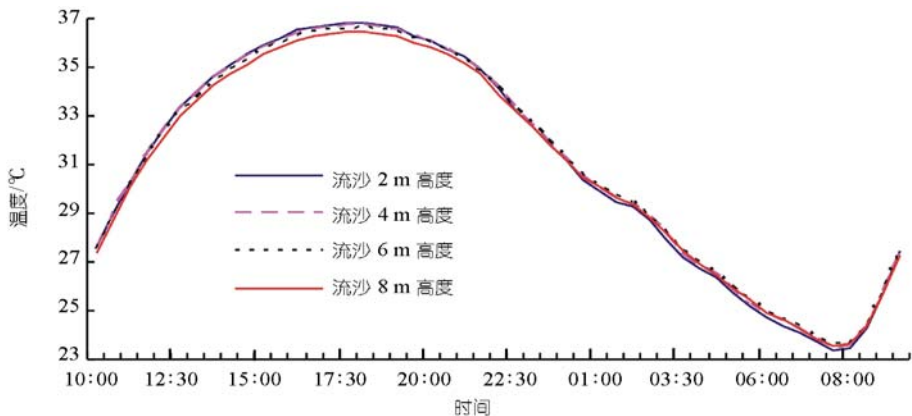


图 3 流沙地日气温垂直变化

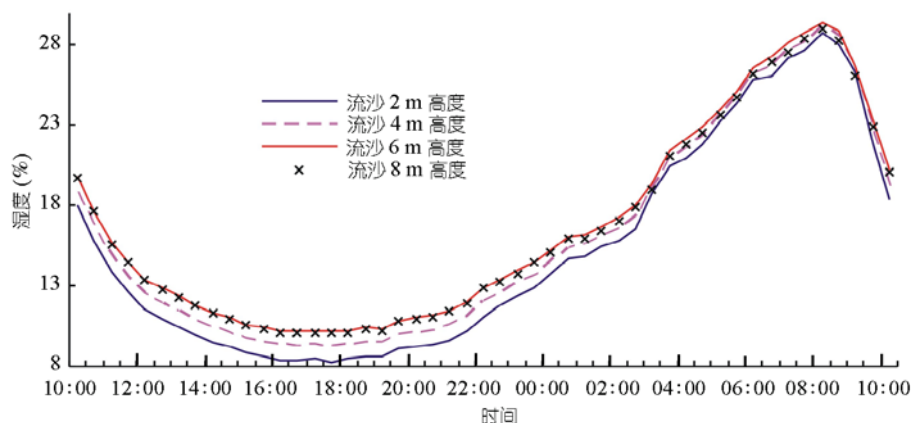


图 4 流沙地日湿度垂直变化

本达到一致. 因此在流沙地中湿度值的大小分别为 $8\text{ m} \approx 6\text{ m} > 4\text{ m} > 2\text{ m}$. 可以得出, 流沙地在正常光照情况下湿度变化的规律: 越近地表湿度起伏越大, 地表对近地表的空气湿度变化具有很显著的影响, 而 6m 高度以上空气湿度受地表影响不显著.

值得注意的是在凌晨 03:00~09:00 之间 4 m 高度上湿度略大于 8 m 高度上的湿度, 差值相当于 8 m 高度上的湿度的 1%, 其原因是由于沙漠腹地常见的凝结水过程. 太阳辐射衰弱以后, 沙砾中所积蓄的太阳辐射能量通过地面, 以长波辐射的形式逐渐释放. 凌晨 03:00 左右地表气温低于热容性较好的上层空气, 由沙砾与空气接触面产生的气温差造成了水汽在遇到冷却的沙砾后发生了凝结水过程, 使得 4 m 高度以下湿度降低, 从而产生逆湿效果, 然而, 凝结水过程中湿度细微的变化又是怎样的, 有待于更进一步的研究和探讨.

3.2 防护林近地表温度和湿度的日变化特征

(i) 气温日变化. 比较防护林 4 个高度全天的

气温变化, 可以看出防护林各个层次在第一阶段 (10:00~17:00) 相差是最小的 (图 5). 林内气温在经过低点也就是 08:00 之后气温在逐渐上升, 各层气温数值均相交于 12:00, 相比流沙地的 00:00 交点推迟了 12 h, 可见防护林有保持气温的作用. 10:00~13:00 时段林内 4 个高度也比流沙地的平均气温分别低 0.38, 0.27, 0.15 和 0.001℃, 差别不是很显著; 02:00~06:00 的平均气温分别降低 1.1, 0.68, 0.44 和 0.17℃, 降幅占流沙地同一时段平均气温的 4.1%, 2.5%, 1.6% 和 0.6%. 贺山峰等人^[18]对流动沙丘和小叶锦鸡儿灌木林内不同测点不同高度气温的同期观测结果表明: 灌木林内与流动沙丘气温的日变化趋势基本一致, 流动沙丘 0, 0.3 m 高处白天平均气温比 2000 年锦鸡儿分别高出 4.47℃ 和 2.97℃, 这与本次实验结论一致, 略有差别是植物种与地域的不同所造成的.

在气温下降过程中各层次同时间的气温 2 m 高度气温最低, 8 m 高度上最高, 林冠以下的气温要低于林冠以上, 最大值出现在 03:30, 8 m 高度上的气温

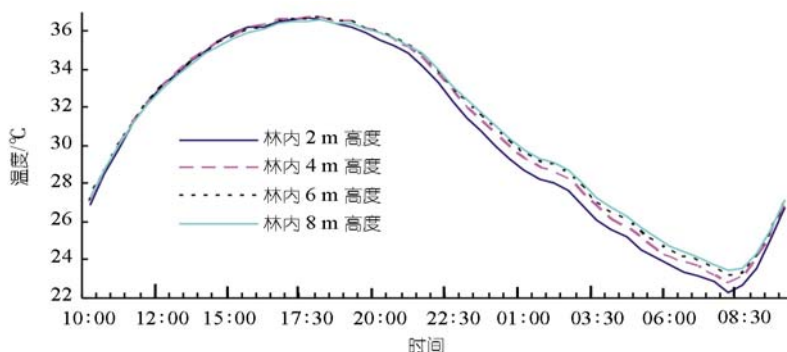


图 5 林内气温日垂直变化

大于 2 m 高度处的 1.24℃. 08:00 以后气温开始回升, 但 12:00 之前林内气温均低于流沙地. 12:00 以后防护林区域内林冠以上的气温逐渐大于相同层次的流沙地气温, 15:00 左右防护林内气温与流沙地气温差值为最大(图 6), 差异最大值为-0.19℃出现在 15:30 的 8 m 高度上, 而在 2 m 高度上的林冠下, 气温仍然低于外界流沙地.

综上所述, 防护林降温效果明显, 尤其是在 18:00 以后至次日 12:00 表现极为明显. 2 m 观测点位于林冠层下, 林地气温全天都低于流沙地, 降温幅度为 0.02℃至 1.24℃, 全天平均降幅 0.66℃.

(ii) 湿度日变化. 防护林内湿度特征湿度值随着高度的增加而减少(图 7), 湿度最大值与最小值出现在 08:00 和 17:00 前后, 分别是 2 m 高度的 36.78% 和 8 m 高度的 9.83%, 8 m 高度的湿度总是低于 2 m 高度的湿度, 此特征与流沙地截然相反.

防护林内湿度垂直特征可分为两部分: (1) 09:00~22:00 时段, 各层湿度相差值较均衡, 以 16:00~

18:00 时段为例, 各层次之间平均偏差为 0.83%; (2) 22:00~09:00 时段, 在太阳辐射消失后, 由于植物的呼吸作用各层次之间差值增大, 其中 07:00 的时候 2 m 高度林内外湿度相差 7.32%. 06:00~08:00 时段内平均偏差为 2.62%, 远远大于 16:00~18:00 时段的偏差, 表明林内 06:00~08:00 时段内湿度梯度性显著, 而且差异大于有太阳辐射的时刻.

流沙地与防护林湿度差异特征比较明显, 如图 8 所示整个曲线呈平缓的“U”字形. 其中 21:00 左右林内外湿度差距最小, 夜晚林内外湿度差距比较大, 湿度增加范围从 08:30 的 7.9% 到 21:00 的 1.63%, 平均增湿 4.19%. 其中 2, 4 和 6 m 高度上的湿度差最大, 并且防护林内湿度总是大于流沙地同高度湿度. 贺山峰等人^[18]对科尔沁沙地小叶锦鸡儿灌木林固沙效应的研究表明, 样地实验空气湿度在各个时段均明显高于流动沙丘, 尤其以 08:00 和 20:00 更加明显, 2000 年和 1995 年小叶锦鸡儿样地内日平均空气湿度分别比流动沙丘高 13.79% 和 21.7%. 小叶锦鸡

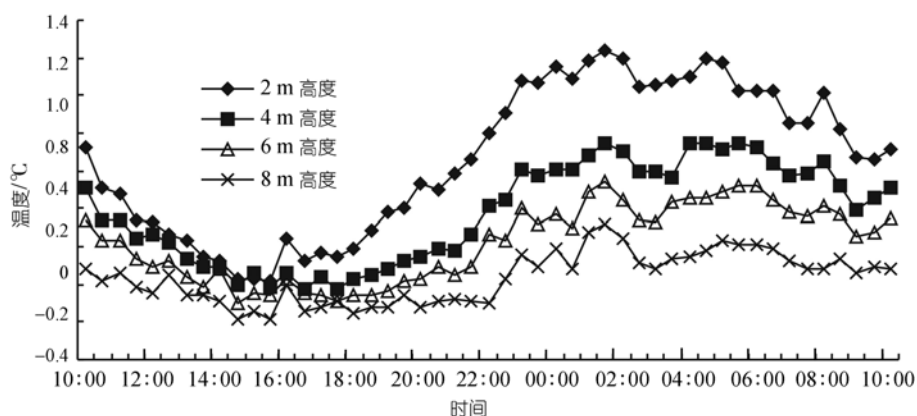


图 6 林地与流沙地气温差值的日变化

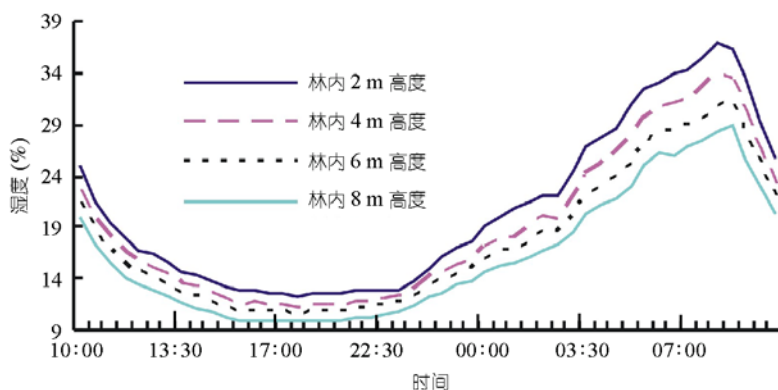


图 7 林内湿度变化

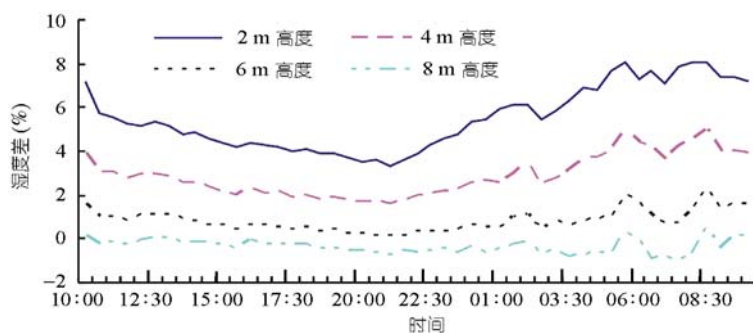


图 8 防护林与流沙地日垂直湿度差异

儿灌木比沙漠防护林湿度增加值要大得多, 原因有二: 首先小叶锦鸡儿叶面积较防护林体系中任何植物的叶面积都要大, 水分散失速度要快于柽柳、梭梭等植物; 其次科尔沁沙地水条件要明显好于沙漠腹地。

比较流沙地同时段湿度的各个统计值, 2 m 高度林内湿度总是大于流沙地湿度(图 9), 晚上的湿度总是大于白天的湿度, 分别为林内晚上 > 流沙晚上 > 林内白天 > 流沙白天。防护林白天林内湿度是流沙地的 1.17 倍, 晚上是 1.11 倍, 说明了植物白天增湿能力比晚上略强^[19]; 防护林内晚上的湿度均值是 30.63%, 较白天增加了 2.74 倍, 相应的流沙地湿度值是 27.59% 较白天增加了 2.91 倍, 防护林内湿度值变化波动小于流沙地, 因此防护林具有一定的保湿能力。

(iii) 垂直尺度上的温度和湿度影响范围。由于相同时段内在垂直尺度上的温度和湿度与高度呈线性关系, 且各时间段 R^2 均大于 0.9。将相同时段林地的拟合曲线和流沙地的拟合曲线相连, 会产生一个交点, 这个交点也就是防护林的垂直影响边界值。

如图 10 所示, 气温边界波动较大, 10:00 以后林内气温在太阳辐射的作用下, 林冠上层空气逐渐与

林外受到太阳与地表长波双重辐射的热空气流通, 相应的林内较冷的空气也在与外界进行着热量传递。尽管在林外气温最高的时候边界达到一天的最低谷, 防护林仍然能影响到近地表 4.2 m 以内的空气气温; 相对而言防护林湿度边界比较稳定, 在 6~8 m 之间上下浮动, 高温的空气就能容纳更多的水汽, 所以湿度在同一时间内的变化不会很大。

3.3 防护林外侧自然沙面的温湿度日变化特征

(i) 气温日变化。总体而言, 水平方向上气温的变化特征分两阶段, 白天呈峰、晚间呈谷, 峰值附近离林带越近气温也就越高, 夜晚波谷附近离林带越近气温就越低(图 11)。林带边缘气温起伏最大, 离防护林带越远气温波动越小。

白天 10:00~20:00 气温曲线规律比较明显, 层次分明, 可以分为 0~4, 8~12 和 16~24 m 3 个层次, 林边缘气温 15:30 最大, 大于 24 m 处的气温 1.26℃。这是由于 0 m 探头处于防护林边界处, 防护林衰减了可以带走热量的风, 并且这里可以受到阳光的直接照射而使得此处能量无法及时散出, 能量的积累最终产

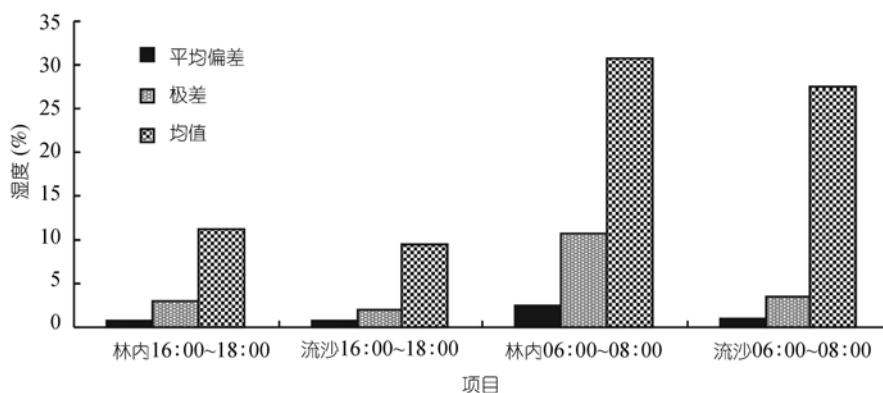


图 9 典型时段 2 m 高度处防护林与流沙地日垂直湿度差异

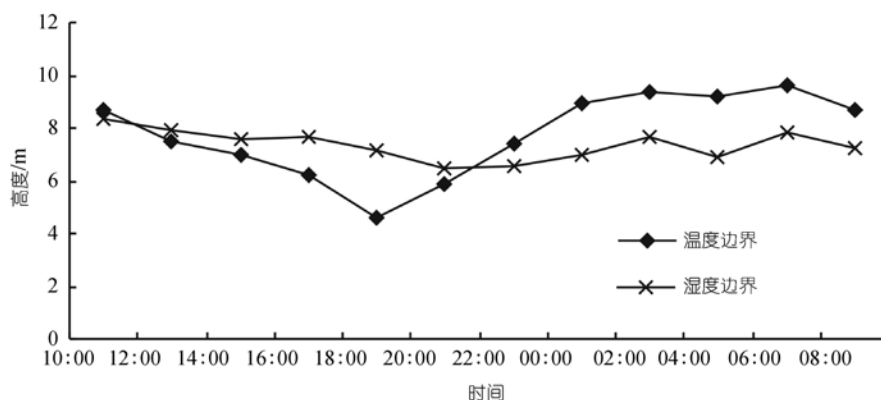


图 10 防护林温度和湿度垂直影响范围

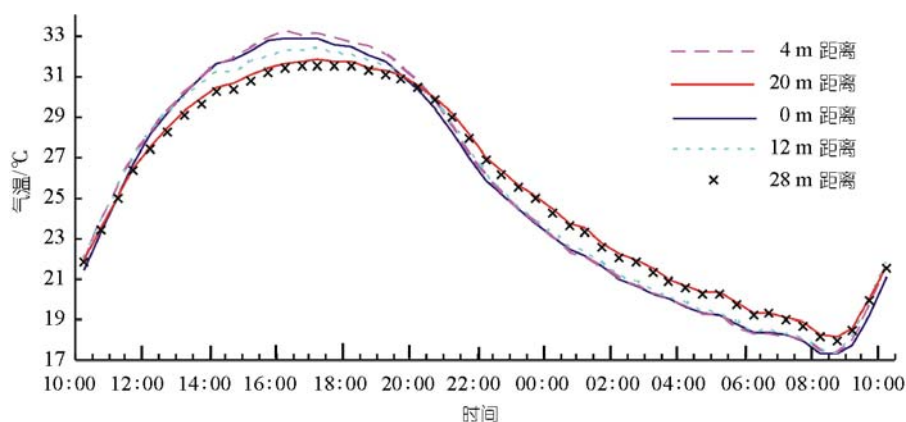


图 11 水平气温日变化

生了林带的边缘气温大于流沙地，也远远大于林内气温的边缘效应。在夜晚 20:00 至次日 08:00 曲线明显可分 0~12 和 16~24 m 两个层次；林边气温 23:30 最小，低于 24 m 处的气温 1.37℃。此时随着太阳辐射的消失林带边缘能量积累也在减少，在防护林内部气温的影响下，接近林带的区域逐渐降温，而在 16~24 m 的范围内气温已经不受防护林的影响。

(ii) 湿度日变化。防护林外的水平湿度变化特征很明显，林带边缘湿度总是大于 28 m 湿度，水平方向上湿度随着与防护林的距离的增大而降低(图 12)。曲线呈单峰形状，白天由于太阳辐射作用而呈波谷，4 m 距离以外的湿度值较相近，但林边 0~4 m 距离内的湿度仍然受到防护林增湿效果的影响；夜晚随着太阳辐射的减弱，随着林带增湿作用的增强，

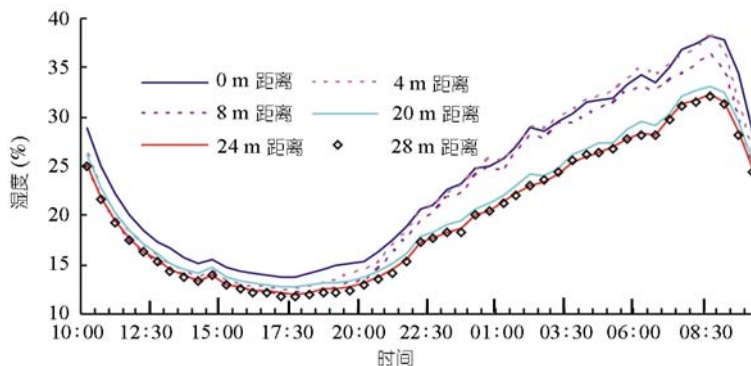


图 12 水平湿度特征

表 2 防护林气温水平影响范围检验

气温分析距离/m	13:00~20:00			01:00~08:00		
	均值	标准差	1%极显著水平	均值	标准差	1%极显著水平
0	31.87	0.9	A	19.52	1.4	C
4	32.03	0.95	A	19.46	1.4	C
8	31.43	0.81	B	19.63	1.45	B
12	31.47	0.73	B	19.64	1.48	B
16	30.93	0.76	C	20.55	1.53	A
20	31.01	0.75	C	20.6	1.53	A
24	31.05	0.77	C	20.6	1.53	A

林带内湿度向外影响加大,越接近林带的区域湿度增长越快.在 24 和 28 m 距离上昼夜湿度值均近似,说明本测量范围已经达到并超过了防护林湿度影响的水平边界.

湿度最大值出现在 08:30 的 4 m 处为 38.2%,这个数值与 28 m 的湿度相差 6%,是 28 m 湿度值的 1.2 倍;最小值出现在 17:00 的 28 m 处为 11.87%,与 28 m 湿度相差 0.55%,仅是 28 m 湿度 1.05 倍.以上的分析说明在防护林水平尺度上,夜晚的增湿范围和增湿的程度要远远大于白天.

(iii) 水平尺度上的温湿度影响范围. 由于防护林外水平气温变化的边缘效应^[20],所以选择两个典型时段对林外水平气温特征进行分别描述(表 2). (1) 白天林带附近受太阳辐射和防护林阻风效益的双重影响,林带附近气温大于流沙地气温,次序是 0~4 m > 8~12 m > 16~24 m. (2) 夜晚受防护林内气温影响,林带边缘气温小于流沙气温,次序是 0~4 m < 8~12 m < 16~24 m.

综合以上两个时段的分析,通过 1%极显著水平的检验表明:16~24 m 的字母均标记为 A,说明无显著差异,因此可以认为防护林水平气温影响边界在 16 m 左右.

防护林外水平尺度上的湿度特征的差异也比较明显,从表 3 多重比较结果中看出,在水平方向上可以将其分为 0, 4, 8 和 20 m 以及 24~28 m 5 个差异显

著的层次.

表 3 检验可将 28 m 范围内的湿度分为 5 个梯度,其中在 24 和 28 m 距离上字母标记均为 E,差异不显著,可以认为 24 m 左右就是防护林与原始流沙地湿度的影响边界.

3.4 不同天气状况林地温湿度日变化特征

从塔中沙漠植物园自动气候站测量的实验时段内的气候资料分析表明,垂直实验期间,7 月 27 日太阳辐射较当月平均值有所降低,能见度在附近几日均接近平均水平可以视为稳定,2 m 平均风速 4.3 m 在塔中地区属于稳定值,说明这段时间内是持续的无大风阴天状况.

7 月 27 日与 8 月 1 日日期比较相近,太阳总辐射量可以认为在相同水平,因此这两天的辐射量具有相似性.实际分析得出 7 月 27 日太阳总辐射和净辐射比 8 月 1 日分别平均减少了 92.34 J/(cm²·min)和 21.57 J/(cm²·min),最大差别在 17:30 的 450.7 J/(cm²·min)和 17:00 的 161.5 J/(cm²·min).对照 8 月 1 日的辐射通量曲线可以发现 7 月 27 日一整天都是在阴天(图 13).

为了比较出 7 月 27 日与正常天气状况下的温湿度差异,并且为了数据准确性,将 7 月 27 日左右 10 日内的温湿度平均以便于参照 7 月 27 日的变化情况.数据表明,当太阳有效辐射降低 32.4%,在林内 2 m 高度 7 月 27 日气温较平均值有所降低(图 14),平均降幅 3.6℃,27 日一天平均气温为 10 天平均气温的 88.4%.湿度值平均增加 10%(图 15),当天平均湿度为 10 天平均湿度的 1.41 倍.

林内外气温降低幅度基本一致,而流沙地湿度升高的幅度显著大于林内的幅度(表 4),但湿度的值却仍然低于林内的水平,这说明了辐射的减少同时增加了林内外的湿度,但植物的作用仍然很显著.

表 3 防护林湿度水平影响范围检验

湿度分析距离/m	均值	标准差	1%极显著水平
0	23.64	8.07	A
4	22.85	8.53	B
8	21.9	8.14	C
20	20.73	6.66	D
24	19.99	6.57	E
28	19.86	6.62	E

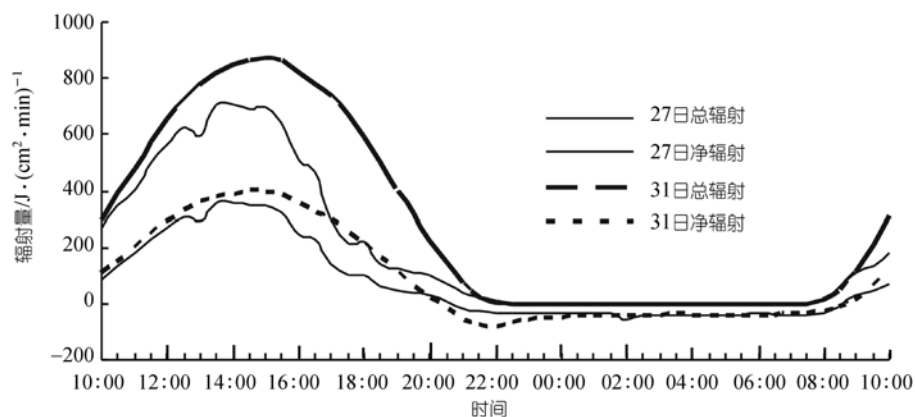


图 13 阴天与晴天辐射对比

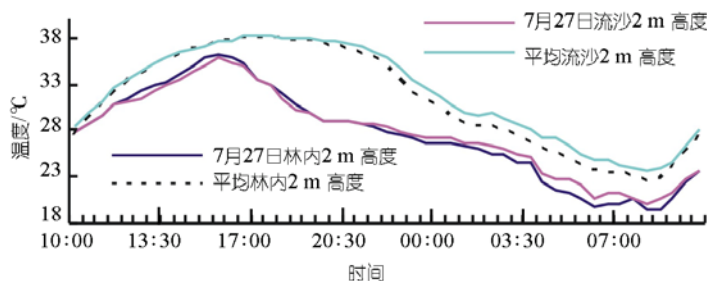


图 14 气温对比

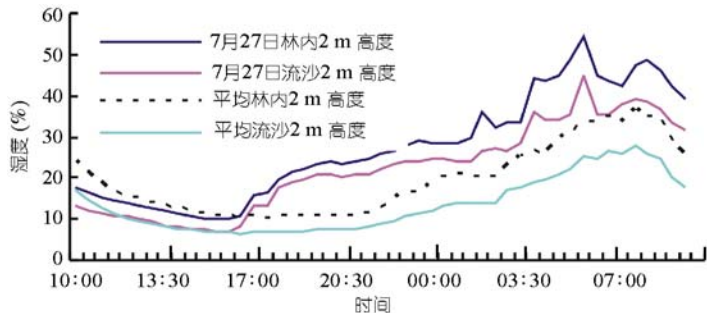


图 15 湿度对比

表 4 7 月 27 日与 10 天平均温湿度对比

一天内升降幅度		2 m 高度	4 m 高度	6 m 高度	8 m 高度	平均
气温	林内	-12%	-12%	-13%	-13%	-12%
	流沙	-13%	-13%	-13%	-13%	-13%
湿度	林内	41%	50%	54%	59%	51%
	流沙	64%	62%	59%	61%	61%

4 结论

(i) 林冠的存在削弱了林内的太阳辐射、降低了地面长波辐射,并且使进入冠层的气流运动受到枝叶的阻截和磨擦作用,减弱了空气热量交换强度,从而导致林内气温与流沙地气温差异明显,白天林内

接受太阳辐射时增温慢,夜晚林外降温时对林内影响少,散热也慢.防护林对气温的影响作用主要表现为缩小日较差、降低气温变幅,从而使林内气温相对稳定.

(ii) 由于防护林内风速、气温较低,植物蒸腾和

土壤发出来的水蒸气能较长时间滞留在近地面层空气中,加之林冠的遮盖作用,使得林内的空气湿度在任何时刻都高于林外,因此林内能保持较高的湿度。

(iii) 温度、湿度和太阳辐射作用明显,气温与太阳辐射呈正相关,即辐射越多温度越高;湿度的大小与太阳辐射呈负相关,相应的湿度与气温也是负相关,并且林内外温湿度变化规律一致。辐射降低的情

况下林内外温度降低、湿度增加,流沙地温湿度变化要略微大于林内。

沙漠公路防护林体系是一个比较特殊的防护林生态系统,这个系统既遵循防护林应有的降温增湿的效果,同时它又孤立的处于沙漠腹地极端的天气影响之下,因此对它进行进一步的小气候特征的研究是十分必要的。

参考文献

- 1 朱廷唾,关德新. 农田防护林生态工程学. 北京: 中国林业出版社, 2001
- 2 曹新孙. 农田防护林. 北京: 中国林业出版社, 1983
- 3 谢平, 李燕. 海岸沙地防护林的小气候效应. 中国沙漠, 2001, 21(1): 93—96
- 4 Hipsey M R, Sivapalan M, Clement T P, et al. A numerical and field investigation of surface heat fluxes from small wind-sheltered water bodies in semi-arid Western Australia. Environ Fluid Mechanics, 2004, 4: 79—106
- 5 Wang H, Zhou H. A simulation study on the eco-environmental effects of 3N Shelterbelt in North China. Global and Planetary Change, 2003, 37: 231—246
- 6 祝宁, 李敏, 柴一新. 哈尔滨市绿地系统生态功能分析. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1117—1120
- 7 常杰, 潘晓东, 葛滢, 等. 青冈常绿阔叶林内的小气候特征. 生态学报, 1999, 19(1): 68—75
- 8 刘文杰, 张克映, 王昌命, 等. 西双版纳热带雨林干季林冠层雾露形成的小气候特征研究. 生态学报, 2001, 21(3): 486—491
- 9 刘学全, 史玉虎, 蔡晟, 等. 三峡库区防护林不同林分结构森林小气候研究. 湖北林业科技, 1998, (1): 1—5
- 10 马国飞, 崔学明, 刘静, 等. 两种杨树农田防护林气候效应的对比研究. 内蒙古农业大学学报, 2005, 26(1): 42—45
- 11 于建权. 半干旱风沙区疏林式草牧场防护林的土壤改良效应. 东北林业大学学报, 2001, 29(2): 55—58
- 12 李德文, 高跃, 高志勇, 等. 川西亚高山岷江冷杉林小气候特征. 四川林业科技, 2006, 27(6): 30—34
- 13 李海涛, 陈灵芝. 暖温带山地森林的小气候研究. 植物生态学报, 1999, 23(2): 139—147
- 14 杨茂精, 黄镜光, 黄色贵, 等. 稀疏马尾松林混交红椎后的小气候特点. 林业科学研究, 1998, 11(5): 560—563
- 15 白育英. 大青山水源涵养林小气候观测研究. 内蒙古林学院学报(自然科学版), 1999, 21(3): 23—28
- 16 孙书彭, 朱力挥, 曾程, 等. 塔中油田基地路生物防沙体系建设的可行性研究. 干旱区研究, 2002, 19(11): 21—22
- 17 于沪宁. 全球性生态问题与森林生态效益. 森林气象期刊集, 1990, 6(3): 7—11
- 18 贺山峰, 蒋德明, 阿拉木萨, 等. 科尔沁沙地小叶锦鸡儿灌木林固沙效应的研究. 水土保持学报, 2007, 21(1): 84—87
- 19 吴力立, 张芳. 南京城市森林的气温研究. 南京林业大学学报(自然科学版), 2003, 27(6): 31—34
- 20 闰明, 钟章成, 乔秀红. 缙云山片断常绿阔叶林小气候边缘效应的初步研究. 应用生态学报, 2006, 17(1): 17—21