

# 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地生长季的小气候特征

严坤<sup>1,2</sup>, 李生字<sup>1</sup>, 雷加强<sup>1</sup>, 王海峰<sup>1,2</sup>, 刘小璐<sup>3</sup>, 杨文<sup>3</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆乌鲁木齐 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, 新疆库尔勒 841000)

**摘要:** 利用小气候观测资料, 分析了塔里木沙漠腹地人工灌溉林地小气候特征及其影响因素, 并与林地外原始流沙地进行了对比。结果表明, 人工灌溉林地具有调节地表温度和贴地层气温, 缩小温差, 提高大气湿度等重要生态作用。人工灌溉林地地表温度与流沙地差异极显著, 白天林地的地表温度低于流沙地而夜间相反, 林地土壤温度的日较差比流沙地低 18.26 °C; 在 09:00—15:00 期间, 林地的气温高于流沙地, 平均温度高 1.44 °C, 其它时段, 林地的气温低于流沙地, 平均温度低 3.22 °C; 两者之间温差夜间大于白天, 林地的气温日较差较流沙地高 4.41 °C。全天林地绝对湿度和相对湿度均大于流沙地。不同树种的林地温湿度存在差别, 但是差异不显著。不同覆盖度林地地表温度、空气温湿度都表现出不同的特征。研究结果对于进一步探讨极端干旱条件下人工灌溉林地近地层物质和能量交换具有重要意义。

**关键词:** 塔克拉玛干沙漠; 防护林地; 小气候; 温湿度; 覆盖度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0198-05

中图分类号: S716

## Microclimatic Characteristics over Artificial Shelter Forest Land in Growing Season in Hinterland of Taklimakan Desert

YAN Kun<sup>1,2</sup>, LI Sheng-yu<sup>1</sup>, LEI Jia-qiang<sup>1</sup>, WANG Hai-feng<sup>1,2</sup>, LIU Xiao-lu<sup>3</sup>, YANG Wen<sup>3</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang

830011, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Tarim Branch of Chinese National Petroleum and Gas Corporation, Korla, Xinjiang 841000, China)

**Abstract:** Using observed microclimatic data, we analyzed the microclimatic characteristics over irrigated shelter forest land and the external influence factors in Tarim Desert in autumn and make the comparison with shifting sand land. Results showed that the irrigated shelter forest land had particular climate functions, such as modifying surface temperature differences, reducing soil temperature, and improving humidity. Surface temperature between shelter forest land and shifting sand land had significant difference. Surface soil temperature in shelter forest land was lower than that in shifting sand land in the daytime, whereas it was contrary in the nighttime. The daily difference of surface soil temperature in shifting sand land was 18.26 °C higher than that in shelter forest land. From 09:00 to 15:00, the average air temperature in shelter forest land was 1.44 °C higher than that in shifting sand land, whereas in other time, it was 3.22 °C lower average-ly. The difference between shelter forest land and shifting sand land in the daylight was greater than that in the night. The daily difference of air temperature in shelter forest land was 4.41 °C higher than that in shifting sand. Air absolute humidity and relative humidity in shelter forest land was higher than those in shifting sand. Microclimate among different shrubs species exhibited the different characteristics but no significant difference. Soil surface temperature, air temperature, and humidity between different forest covers showed the different characteristics. The observed results are of significance to further exploring material and energy exchange near surface layer under irrigation condition in the extremely arid conditions.

**Keywords:** Taklimakan Desert; shelter forest land; microclimate; temperature and humidity; forest cover

收稿日期: 2009-04-07

修回日期: 2009-09-13

资助项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-13); 新疆维吾尔自治区重大科技专项(200733144-3); 国家自然科学基金项目(40701019); 中国科学院西部博士项目(XBBS200813); 塔里木油田公司科研项目(971008090016; 971008090017)

作者简介: 严坤(1983—), 男(汉族), 四川省南部县人, 硕士研究生, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: kyancas@gm ail. com.

通信作者: 雷加强(1961—), 男(汉族), 陕西省高陵县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事荒漠环境及荒漠化防治研究。E-mail: desert@ms. xj b. ac. cn.

小气候作为生物生长发育最重要的环境因子,在一定程度上反映了生态系统功能和景观结构的微变化<sup>[1]</sup>。生物群落和其周围环境每时每刻都在进行物质和能量的交换,要协调生物与环境之间的关系,离不开对小气候的研究<sup>[2]</sup>。近年来,国内外学者对森林、农田、草原、湿地以及干旱区人工绿洲和荒漠区的小气候进行了大量的研究<sup>[3-10]</sup>,但对极端干旱条件下人工灌溉林地的小气候研究却鲜见报道。本试验通过对极端干旱区灌溉条件下人工防护林地内空气温湿度和地表温度的观测,研究了不同树种、不同覆盖度条件下的林地小气候差异,揭示沙漠人工防护林对局地小气候的改善作用,同时也为沙漠公路防护林的生态效益评价提供依据。

## 1 研究区概况

研究区位于塔克拉玛干沙漠腹地塔中植物园(39°06' N, 83°40' E),据塔中气象站资料,该区年平均气温 12.4 °C,一年中最热月为 7 月份,月平均气温 28.2 °C,沙面最高气温为 75.3 °C;最冷月为 12 月份,月平均气温 - 8.1 °C,极端最高气温 45.6 °C,极端最低气温 - 22.2 °C,全年  $\geq 10$  °C 积温 4 618.6 °C,无霜期为 283 d,年日照时数 2 571.3 h;多年年平均降水量 36.6 mm,平均相对湿度 29.4 %,年蒸发量为 3 638.6 mm;平均风速 2.5 m/s,最大瞬时风速

为 24.0 m/s;4—8 月为风季,平均风速为 3.2 m/s,大风频繁,风热同期,浮尘扬沙天气十分常见。该区土壤为风沙土,其盐分含量为 1.26~ 1.63 g/kg,下层偶尔出现亚黏土,夹杂在风沙土中间,一般只有 20~ 60 cm。植物园内以柽柳(*Tamarix chinensis*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)等优良防风固沙灌木为主,采用矿化度为 4 g/L 左右的地下咸水进行滴灌。

## 2 实验设计与数据处理

试验仪器布设在塔中植物园梭梭、柽柳和沙拐枣林地内,对照点设置在植物园外地势平坦的流沙地。试验仪器为美国 ONSET 公司生产的温湿度传感器(HOBO<sup>R</sup> H8 Pro Temp/ RH Data Logger)和温度传感器(HOBO<sup>R</sup> H8 Pro Temp/Temp External Temperature Data Logger)。测定项目包括空气温湿度、地表温度等小气候要素,采样时间间隔为 30 min,同步记录 0.5 和 1 m 高度处的空气温湿度数据和地表温度数据。

观测期间利用塔尺观测样地内植株的高度、冠幅,试验样地基本特征见表 1。观测在 2005 年 9 月 11—13 日进行,观测期间天气晴好无云,早上有微风。试验所得的数据利用 Excel 和 SPSS 13.0 进行处理和作图。

表 1 试验样地基本特征

林地类型	林龄/a	样本数	覆盖度/%	株高/cm	调查样方面积/m <sup>2</sup>
沙拐枣林地 1	3	21	82.4	265.7 ± 14.2	8 × 8
沙拐枣林地 2	1	29	34.7	147.6 ± 6.1	10 × 10
沙拐枣林地 3	3	18	68.0	259.9 ± 13.2	9 × 9
梭梭林地	3	26	65.1	105.6 ± 4.2	9 × 9
柽柳林地	3	25	57.4	140.4 ± 6.2	8 × 8

## 3 结果与分析

### 3.1 灌溉林地小气候基本特征

3.1.1 地表温度日变化特征 如图 1 所示,人工灌溉林地和对照点原始流沙地地表温度呈明显的正弦曲线变化规律。两者的日变化也基本同步,地表温度最低值出现在 06:00 左右,最高值出现在 13:00 左右。在地表温度的日变化过程中,林地与流沙地差异极显著( $t = - 5.33$ ,  $d_f = 48$ ,  $P < 0.001$ )。其中 07:00—次日 00:00 期间,林地的地表温度低于流沙地,平均温度低 8.95 °C,而 00:00—07:00 期间,林地的地表温度高于流沙地,平均温度高 1.26 °C;其中在 14:00—15:00 期间,两者的地表温度差值达到最大,为 22.59 °C,在夜间 00:00 左右两者地表温度差值消

失。就地表温度的日较差来说,林地的地表温度的日较差平均为 31.48 °C,而流沙地可达 49.74 °C,流沙地较林地高 18.26 °C。

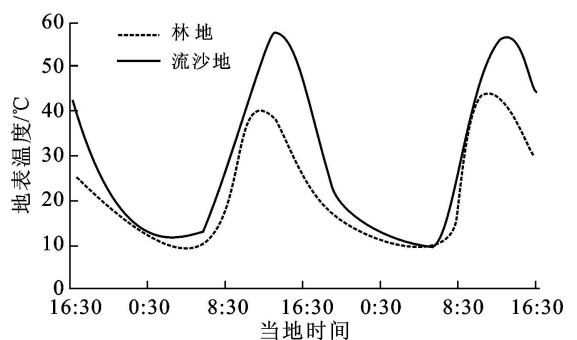


图 1 林地与流沙地的地表温度日变化

林冠层的遮挡使林地地表在白天获得的太阳直接辐射比流沙地少, 夜间林冠层的阻挡又减少了地表长波辐射。同时, 灌溉使林地土壤含水量增加, 潜热通量所占份额增加, 用于增加地面温度的太阳辐射减少。夜晚由于凝结潜热可部分补偿地面因辐射冷却损失的热量, 加上灌溉作用导致土壤导热率增加, 深层较多的热量传递到地表以维持地面较高的温度<sup>[11]</sup>, 因而林地的地表温度日较差小于流沙地。

**3.1.2 气温日变化特征** 林地和流沙地 1 m 高处空气温度日变化的基本特征与地表温度日变化相似(图 2), 也可近似地用正弦曲线来描述。从 06:00 开始气温急剧升高, 到 15:00 左右达到最高, 此后逐渐降低, 日出前气温达到最低, 两者的日周期变化基本同步。林地与流沙地的贴地层气温差异极显著( $t = -5.88$ ,  $d_f = 48$ ,  $P < 0.001$ )。在 09:00—15:00 期间, 林地的气温高于流沙地, 平均温度高 1.44 °C; 而 16:00—次日 09:00, 林地的气温低于流沙地, 平均温度低 3.22 °C; 两者之间夜间温差大于白昼, 16:00 左右温差最小, 夜间 20:00 左右温差最大, 可达 8.01 °C。林地的气温日较差(26.34 °C)较流沙地(22.73 °C)高 4.41 °C。同时也发现, 在 0.5 m 高处, 林地(28 °C)和流沙地(23.73 °C)的气温日较差均大于 1 m 高处, 但两者之间的差异程度(4.28 °C)略小于 1 m 高处。贴地层空气温度的变化主要决定于下垫面辐射状况和湍流运动的变化。在 09:00—15:00 期间, 植被对湍流的削弱作用超过对辐射的削弱作用<sup>[11]</sup>, 致使植被中的温度反比流沙地高。夜间林地 1 m 高处的气温低于流沙地可能是由于灌溉林地冠层冷却散热较多, 致使冠层附近的气温降低。李灵玉等<sup>[12]</sup>发现乌兰布和沙漠东缘灌木林气温高于流沙地, 灌木林有增大气温日较差的作用, 灌木林对温度的负作用大于正作用。刘树华<sup>[13]</sup>对沙坡头贴地表层的气温观测也得出相似的结论, 认为出现这种现象的原因是夜间植被区散热面积大, 散热快, 温度降低也快, 使贴地层气温稍低于流沙区。潘林林等<sup>[14]</sup>对夜晚绿洲的“冷岛”效应研究发现, 沙漠地区风速加大, 切应力变强, 机械湍流的混和作用加强, 这样在夜晚导致上层空气向下层传热加强, 即感热通量加强, 导致近地面温度变高。

**3.1.3 空气湿度日变化特征** 在 0.5 m 高处, 林地和流沙地的空气绝对湿度也存在较明显的日周期变化, 变化趋势基本一致(图 3a)。17:00—次日 10:00, 空气绝对湿度较大, 而 10:00—19:00 空气绝对湿度较小。空气湿度的这种时间分布格局与地表水气的扩散模式有关, 白天温度层结比较不稳定, 有利于湍流运动的发展, 水汽在梯度风蒸发的作用下向上扩

散, 夜间大气层结稳定, 热力作用阻碍了湍流运动的发展, 有利于水汽的聚积。林地空气绝对湿度日变化幅度大于流沙地, 两者的标准差分别为 1.35 和 0.97  $g/m^3$ 。观测期间, 林地和流沙地的空气绝对湿度的平均值分别为 5.55 和 3.86  $g/m^3$ , 前者较后者大 1.69  $g/m^3$ , 其中 09:00, 20:00 左右相差最大, 可达 4.9  $g/m^3$ , 13:00 左右相差最小。空气相对湿度的日周期变化更为明显(图 3b), 呈现单峰型的日变化, 林地与流沙地的差异更为显著。林地最大相对湿度可达 96.5 % (07:30), 而流沙地仅为 61.9 % (05:00), 两者最大差值可达 59.3 % (07:30)。林地内空气相对湿度大于林地内土壤水分和植物蒸腾以及夜间林地温度较低有关。

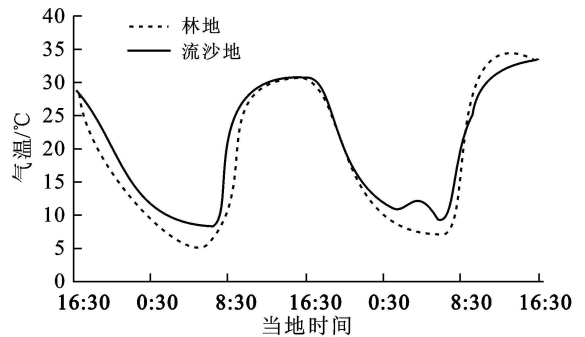


图 2 林地与流沙地 1 m 高处气温日变化

### 3.2 不同树种的小气候特征

定植 3 a 的柽柳、沙拐枣、梭梭林地的覆盖度基本一致, 平均覆盖度分别为 65.1%、68.0% 和 57.4%, 但平均株高相差较大。通过对 3 个林分 0.5 m 高处连续 2 d 的温湿度观测发现(图 4), 在 07:00—18:30 期间, 气温的大小顺序为: 梭梭林地 > 柽柳林地 > 沙拐枣林地; 空气绝对湿度为: 柽柳林地 > 梭梭林地 > 沙拐枣林地; 在 18:30—次日 07:00 期间, 气温的大小顺序为: 沙拐枣林地 > 梭梭林地 > 柽柳林地; 空气绝对湿度为: 沙拐枣林地 > 柽柳林地 > 梭梭林地。虽然 3 种不同树种的林地内温湿度存在差别, 但是差异不显著。常兆丰等<sup>[15]</sup>对沙面不同地被物热效应进行了观测, 发现午间柽柳 0.5 m 高处气温为 35.7 °C, 沙拐枣为 32 °C, 梭梭为 31.8 °C。苏培玺等<sup>[16]</sup>对不同植被类型小气候效应观测发现, 樟子松林、杨树林和玉米地同一高度处的温湿度在各季均存在差异。司建华等<sup>[17]</sup>发现 9 月胡杨和柽柳林气温垂直变化趋势基本一致, 但两林地气温差值最大, 高达 6 °C, 胡杨林地空气相对湿度各月值高于柽柳林地, 平均湿度比柽柳高 4.33 °C, 这都说明了不同地表植被类型小气候特征的差异性。

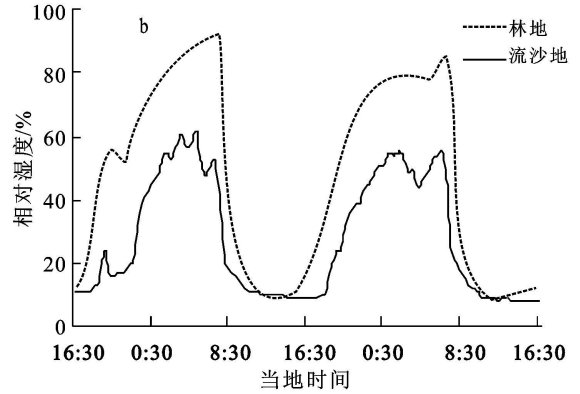
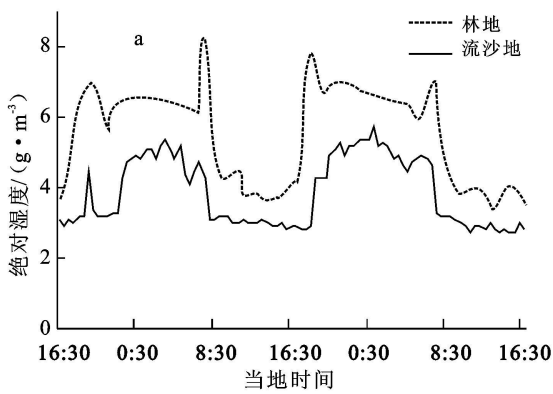


图3 林地与流沙地 0.5 m 高处空气绝对湿度(a)和相对湿度(b)的日变化

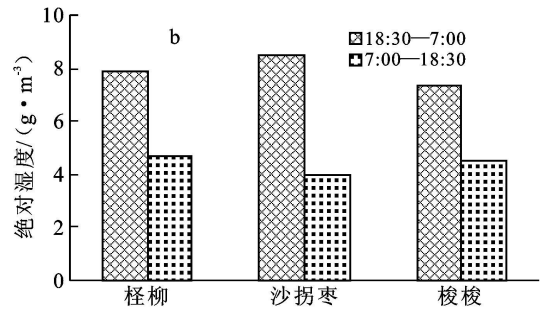
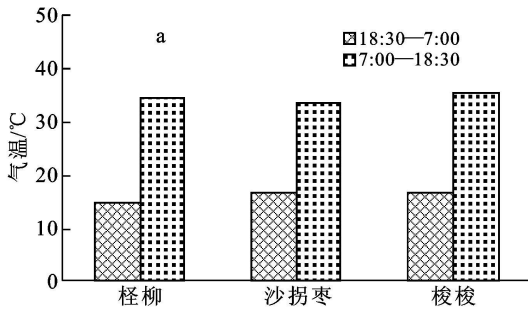


图4 不同林地 0.5 m 高处的气温(a)和绝对湿度(b)的差异比较

植物茎流速率反映了植物的蒸腾强度,而植物蒸腾水分是林地空气中水汽的主要来源,因此茎流速率一定程度上可以表示空气绝对湿度的大小。沙拐枣的株形特征明显,枝叶主要集中于中上部的冠层中,而下层枝干部分枝叶极为稀疏,尽管白昼中沙拐枣冠层的蒸腾量很大,但在观测高度处的空气绝对湿度却小于其它两林分。白天,林地气温与植物冠层大量吸收太阳辐射能量有关,植物的枝叶密度越大,吸收的太阳辐射量越多,沙拐枣由于枝叶密度最小,所以3种林地中沙拐枣林地的气温最低。

### 3.3 不同植被覆盖度的小气候特征

如图5,在09:30—次日00:00期间,低覆盖度(34.7%)沙拐枣林地的地表温度与高覆盖度(82.4%)沙拐枣林地地表温度存在显著差异( $t=7.164$ ,  $d_f=29$ ,  $P<0.001$ )。低覆盖度林地平均地表温度比高覆盖度林地高 $5.56^{\circ}\text{C}$ 。其中,在14:00左右,两沙拐枣林的地表温度均达到最高,此时两者的温差也最大;在00:30—03:00期间,两林地的地表温度基本相等;在03:30—09:00期间,低覆盖度林地的地表温度略低于高覆盖度林地,平均低 $0.76^{\circ}\text{C}$ 。在白天,林地覆盖越大,地表接受的太阳辐射能量越小,反之越多。而在夜间,林地覆盖度越大,地表长波辐射损失越少,反之越多。

两林地在1 m 高度处气温比较接近,但仍存在细微的差异。在观测期间的多数时间段,高覆盖度林地的气温高于低覆盖度林地,平均高 $0.63^{\circ}\text{C}$ ,其中在12:30—14:30期间,两者的温差最大,最大可达 $1.28^{\circ}\text{C}$ ,夜间温差较小,平均高 $0.46^{\circ}\text{C}$ ;夜间至日出前的部分时间段中,低覆盖度林地的气温反而高于高覆盖度林地,平均高 $0.69^{\circ}\text{C}$ ,最大为 $1.91^{\circ}\text{C}$ 。这是因为林地覆盖度越大,树冠层能够吸收的太阳辐射能量越多,气温就越高,夜间冠层附近气温主要受到植株冠层本身的辐射冷却作用,覆盖度越大,冠层能量越高,能量散失速率较快,所以在日出前气温降至最低,而低覆盖度林地的能量散失速率较慢,日出前气温仍相对较高。

就湿度而言,在19:30—07:00期间,低覆盖度林地1 m 高处空气绝对湿度大于高覆盖度林地,平均差值为 $0.9\text{ g/m}^3$ ,其中21:00—22:00差值最大,可达 $2.1\text{ g/m}^3$ ;而在07:30—19:00期间,高覆盖度林地1 m 高处空气绝对湿度多大于低覆盖度林地,平均大 $0.24\text{ g/m}^3$ ,其中正午前后差值最大,最大可达 $0.7\text{ g/m}^3$ 。这表明,日间覆盖度越大的林地枝叶茂密,水分蒸腾量越大,反之越小;而夜间,覆盖度越低,地表温度越低,林地逆温层越厚,水汽不易散失。反之,覆盖度越高,地表温度越高,逆温层越浅薄,水汽越易散失。

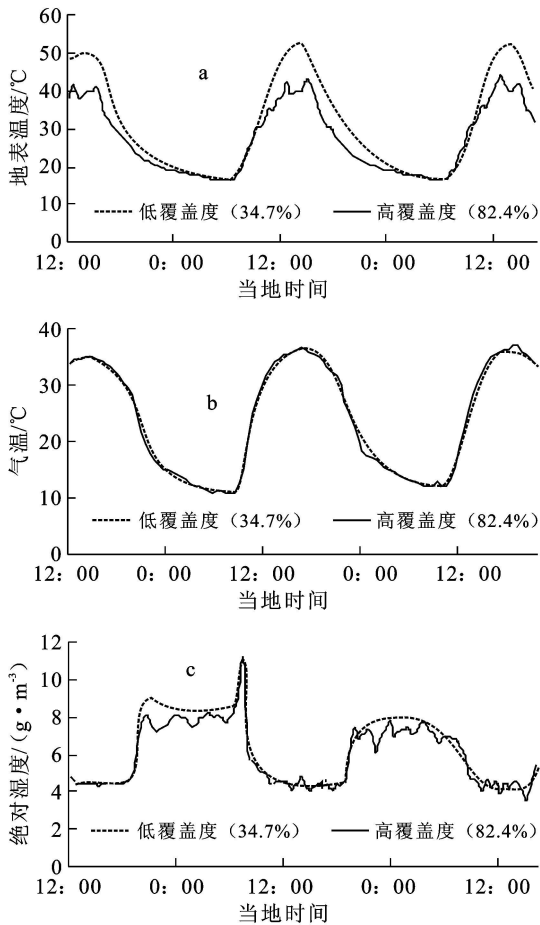


图 5 不同覆盖度沙拐枣林地的地表温度(a)、1 m 高处气温(b)和相对湿度(c)的日变化

## 4 结论

林地在灌溉作用下表现出独特的小气候特征,灌溉后土壤物理属性发生改变,导致地表反射率降低,太阳辐射收入增加,潜热通量所占比重增加,湍流交换减弱。林地与原始流沙地表现出不同的温湿度特征。与原始流沙地比较,林地地表温度的日较差减小,平均气温日变化表现为夜间降温,上午增温;绝对湿度和相对湿度都相应提高。不同树种尽管覆盖度差别不大,但生理特性不同导致了株形形态和枝叶密度存在着明显差别,因而对太阳辐射吸收能力、冠层透光系数、单株蒸腾耗水速率也就不同。因此表现出来的温湿度特征也就相应不同。植被覆盖度的变化,温湿度特征也随着覆盖度的变化发生改变。由于林地小气候特征还受到区域不同背景大气环境、植株株形、枝叶密度等因素的影响,所以还需要通过进一步的试验去观测和分析。

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] Chen J, Saunders S C, Crow T R et al. Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology: Variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes[ J]. *Bioscience*, 1999, 49(4): 288-297.
- [ 2 ] 冯起, 司建华, 张艳武, 等. 极端干旱地区绿洲小气候特征及其生态意义[ J]. *地理学报*, 2006, 61(1): 104-110.
- [ 3 ] 常杰, 潘晓东, 葛滢, 等. 青冈常绿阔叶林内的小气候特征[ J]. *生态学报*, 1999, 19(1): 68-75.
- [ 4 ] 林永标, 申卫军, 彭少麟, 等. 南亚热带鹤山三种人工林小气候效应对比[ J]. *生态学报*, 2003, 23(8): 1657-1666.
- [ 5 ] 陈祥伟, 魏占才, 曹文英, 等. 张广才岭西坡人工针叶林小气候效应的研究[ J]. *东北林业大学学报*, 1995, 23(5): 29-36.
- [ 6 ] Spittlehouse D L, Adams R S, Winkler R D. Forest, Edge, and Opening Microclimate at Sicomous Creek[ R]. Research Report 24, Res. Br, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, B C, Canada, 2004.
- [ 7 ] 徐丽萍, 杨改河, 姜艳, 等. 黄土高原人工植被夏季小气候日动态初步研究[ J]. *西北农林科技大学学报*, 2008, 36(10): 95-102.
- [ 8 ] 李英年, 王勤学, 杜明远, 等. 祁连山海拔高寒湿地微气象日变化特征[ J]. *高原气象*, 2008, 27(1): 193-201.
- [ 9 ] 李胜功, 原园芳信. 内蒙古奈曼麦田和沙丘微气象特性研究[ J]. *高原气象*, 1993, 12(4): 400-408.
- [ 10 ] 左洪超, 胡隐樵. 黑河地区绿洲和戈壁小气候特征的季节变化及对比分析[ J]. *高原气象*, 1994, 13(3): 246-256.
- [ 11 ] 翁笃鸣, 陈万隆, 沈觉成, 等. 小气候与农田小气候[ M]. 北京: 农业出版社, 1979: 213-301.
- [ 12 ] 李灵玉, 王林和, 董锦兰. 乌兰布和沙漠东缘几种灌木林微气候特征比较[ J]. *内蒙古林学院学报: 自然科学版*, 1997, 19(4): 14-19.
- [ 13 ] 刘树华, 辛国君, 陈荷生, 等. 沙漠人工林植被和流动沙丘的小气候特征研究[ J]. *干旱区地理*, 1994, 17(1): 17-23.
- [ 14 ] 潘林林, 陈家宜. 绿洲夜间“冷岛效应”的模拟研究[ J]. *大气科学*, 1997, 21(1): 39-48.
- [ 15 ] 常兆丰, 韩福贵, 仲生年. 不同沙面地被物增温效应的初步研究[ J]. *干旱区资源与环境*, 2001, 15(2): 55-59.
- [ 16 ] 苏培玺, 张智慧. 绿洲不同覆被下环境 CO<sub>2</sub> 浓度及小气候的变化[ J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(1): 4-10.
- [ 17 ] 司建华, 冯起, 张小由, 等. 荒漠河岸林胡杨和柽柳群落小气候特征研究[ J]. *中国沙漠*, 2005, 25(5): 668-674.