

南京城郊麻栎林林内外温湿度变化特征

庄家尧^{1,2}, 葛波^{1,2}, 杜妍^{1,2}, 凡国华^{1,2}, 常猛^{1,2}, 张金池^{1,2}, 仲兆林³

(1. 南京林业大学 水土保持与生态修复实验室, 江苏 南京 210037; 2. 南京林业大学 南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037; 3. 江苏省水文水资源勘测局 常州分局, 江苏 常州 213001)

摘要: 2012年1-12月, 通过定位监测麻栎 *Quercus acutissima* 林林内外温湿度, 探究林分对空气温湿度的调节作用。选取45 a树龄的麻栎林为研究对象, 以裸地作为对照组, 在麻栎林、裸地样地中选择光照条件、土壤状况一致的试验点, 使用Decagon自动气象站收集温湿度数据, 分析并建立回归方程, 并分季节、时间段进行均值检验。研究表明: ①林内外温度日变化曲线为抛物线型, 相对湿度日变化曲线为U型, 林内外温湿度日变化呈对称关系。②麻栎林处在生长旺季时, 林内温湿度变化幅度小于林外, 5-8月麻栎林降温作用最显著, 8月麻栎林增湿作用最显著。③从全年来看, 麻栎林全年降温13 661.4℃, 季节温度林内外差值夏季>春季>冬季>秋季。较裸地全年相对湿度增加41 769.69%, 季节相对湿度林内外差值夏季>秋季>春季>冬季。对比夏季不同时段温湿度相关性, 14:00温湿度变化相关性显著, 全年气温林内(y)和林外(x)的线性回归方程为 $y = 0.8866x + 1.2076$, $R^2 = 0.9723$ 。全年相对湿度林内(y)和林外(x)的线性回归方程为 $y = 0.9618x + 0.0423$, $R^2 = 0.9780$ 。结合全年观测数据进行均值检验, 全年林内外温湿度变化不显著, 夏季林内外相对湿度变化显著, 对比夏季不同时段温湿度相关性, 在中午时分麻栎林降温增湿作用较显著。图10表3参14

关键词: 森林气象学; 林内外气温; 林内外相对湿度; 湿润度; 麻栎林

中图分类号: S716.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2019)01-0062-08

Variation characteristics of temperature and humidity inside and outside the *Quercus acutissima* forest in Nanjing outskirts

ZHUANG Jiayao^{1,2}, GE Bo^{1,2}, DU Yan^{1,2}, FAN Guohua^{1,2}, CHANG Meng^{1,2}, ZHANG Jinchu^{1,2}, ZHONG Zhaolin³

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Ecological Restoration in Jiangsu Province, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3. Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Changzhou City, Changzhou 213001, Jiangsu, China)

Abstract: From January 2012 to December 2012, we monitored the temperature and humidity of *Quercus acutissima* forest in Nanjing Tongshan Forest Farm. The nivation was used as the control group to study the changes of temperature and humidity inside and outside the *Q. acutissima* forest, for analyzing its cooling and humidification effect. Results show that: The diurnal variation curve of temperature inside and outside the forest showed changes of a “parabolic curve” while the diurnal variation curve of humidity showed a U-shape. During the growing season of *Q. acutissima* forest, the monthly variation range of temperature and humidity inside the forest was less than that outside the forest. The cooling effect of the *Q. acutissima* forest from May-August is the most significant. In a year, the cumulative temperature inside the *Q. acutissima* forest had a drop of

收稿日期: 2018-01-26; 修回日期: 2018-04-13

基金项目: “十三五”国家科技重点研发计划项目(2017YFC0505506); 江苏省高等学校林学优势学科建设项目(164010641)

作者简介: 庄家尧, 副教授, 从事森林水文与水土保持研究。E-mail: nlzjiayao@njfu.edu.cn。通信作者: 张金池, 教授, 博士, 博士生导师, 从事林业生态工程、水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: zhang8811@njfu.edu.cn

13 661.4 °C than that outside the forest. The temperature difference between that inside and outside the forest in four season is as follows: summer > spring > winter > autumn. The annual RH inside the forest increased by 417.7% compared with that outside the forest. The RH difference between that inside and outside the forest in four seasons is as follows: summer > spring > autumn > winter. The internal (y) and external (x) temperature showed outstanding linear regression equation: $y = 0.886 6x + 1.207 6$, $R^2 = 0.972 3$, as well as the humidity inside (y) and outside (x) the forest. That is: $y = 0.961 8x + 0.042 3$, $R^2 = 0.978 0$. The annual average temperature and humidity inside the forest were not significantly changed compared with that outside the forest. The humidity inside the forest changed significantly during the summer compared with that outside the forest. Exceptionally, for different periods in a day, the temperature and humidity inside the forest changed the most significantly and also showed the most significant colling effect, at 12:00–14:00 periods compared with that outside the forest. [Ch, 10 fig. 3 tab. 14 ref.]

Key words: forest meteorology; temperature inside and outside the forest; humidity inside and outside the forest; moisture; *Quercus acutissima* forest

城市周边森林蒸腾作用显著,可以有效降低城市周边气温,补充空气湿度,因绿化面积集中,其降温增湿作用远优于城市内部小面积绿地,是城市居民健康生活必不可少的一部分。研究城郊树种的温湿度变化特征具有现实意义^[1]。吴力立^[2]通过研究城郊和市区日空气相对湿度,得出了城市森林能有效地对邻近空间“补湿”。THANI等^[3]调查不同城市景观形态的室外气温变化,观察到不同的城市地区小气候分布有着显著的差别,城市景观形态和小气候变动关系紧密。欧阳学军等^[4]通过分析鼎湖山4种不同海拔高度森林温湿度差异,认为正确评价不同森林类型的小气候功能时,应准确区分海拔高度、地形、植被类型等各个因素的影响,才能得出具有科学结论。邵永昌等^[5]通过对上海地区17种绿化树种的蒸腾特性对比分析,筛选出了降温增湿效应较好的城市绿化树种。麻栎 *Quercus acutissima* 为落叶乔木,广泛分布在长江三角洲地区,是南京地区典型的优势树种。目前,关于麻栎林对小气候温湿度变化影响特征的研究较少。本研究以南京市城郊麻栎林为研究对象,以裸地作为对照,分析麻栎林林内外温湿度变化规律,探讨其降温增湿能力,旨在为南京市城郊植被恢复、人工林营造提供科学依据,为麻栎林的合理经营以及选择社会效益、经济效益、降温增湿效益相结合的城市绿化树种提供理论基础。

1 研究地区与研究方法

1.1 试验区概况

试验区位于长江三角洲区西部南京市国有东善桥林场铜山分场(31°35′~31°39′N, 118°50′~118°52′E),属北亚热带季风气候区,年平均气温为15.1 °C,无霜期为229.0 d,年日照时间为2 199.0 h。区内气候温和湿润,四季分明,水热资源比较丰富,生长季长。年平均降水量为1 100.0 mm,地形为苏南丘陵,土壤类型为黄棕壤,坡向均为东北向(NE),土壤厚度为60 cm,60 cm以下为砂岩风化母质层,海拔26.0 m,地下水位位于10.0 m以下。选择不受林缘和林窗影响的麻栎 *Quercus acutissima* 林与裸地为测量试验地点,试验样地均为100 m × 100 m,麻栎林地平均坡度为18°;林木平均胸径为24.3 cm,平均冠幅为5.7 m,平均树龄为45 a,平均树高为16.8 m;林分密度为425 株·hm⁻²,郁闭度为0.89。

1.2 研究方法

1.2.1 温湿度的测定 在麻栎林、裸地样地中选择光照条件、土壤状况一致的试验点设置2个Decagon自动气象站,间隔15 min记录1次数据,气象站距离地面1.2 m。麻栎林试验点位置距离样地中心5 m,裸地试验点距离样地中心0.8 m。于2012年1月1日至2012年12月25日连续监测麻栎林地与裸地气温和相对湿度。以麻栎林温湿度作为林内温湿度数据,裸地温湿度作为林外温湿度数据。采用气候学统计法进行四季划分,以公历3–5月为春季,6–8月为夏季,9–11月为秋季,12至次年2月为冬季。为消除降雨对林内外气温的影响,选择前3 d无降雨的3月16日、6月1日、9月4日、12月23日代表春、夏、秋、冬各季林内外气温的日变化。取8月15日、8月18日、8月20日数据分别代表晴天、雨天、阴天林内外相对湿度的日变化;取2012年1–12月每月瞬时数据的平均值作为该月温湿度值,进

行林内外温湿度季节变化分析；取2012年1-12月每日瞬时数据的平均值作为日温湿度，计算季节积温和相对湿度。

1.2.2 降雨量的测定 为减少林缘的影响，在距离麻栎林林外10 m处采用雨量筒和RG3-M翻斗式自记雨量计测定降雨量和降雨历时，记录间隔5 min。

1.2.3 数据处理及方法 ①湿润度的计算。伊万诺夫湿润度综合考虑了气温、降雨量、相对湿度对干旱程度的影响，可以更好地分析林分的干旱趋势^[6]。本研究采用伊万诺夫湿润度 K 说明麻栎林林内外湿润状况，其表达式为：

$$K = \frac{R}{0.001 \times 8 \times (25 + T)^2 \times (100 - F)}。$$

其中： K 为湿润度， R 为降雨量， T 为平均气温， F 为平均相对湿度。 $K > 1.0$ 为湿润， $0.6 \sim 1.0$ 为半湿润， $0.3 \sim 0.59$ 为半干旱， $0.13 \sim 0.29$ 为干旱， < 0.13 为极干旱。②数据处理。使用Excel 2013进行数据处理和表格制作，Origin 8.5绘制图件，SPSS 19.0进行方差齐性检验、均值 t 检验和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 林内外气温变化特征

2.1.1 气温日变化特征 经调查，四季林内外气温变化趋势基本一致(图1)：气温日变化均表现为林外大于林内。整体变化呈抛物线型，6:00-14:00呈上升趋势，并在14:00达最高值。上升阶段气温除夏季外均为林外高于林内，其中夏季林内外的气温变化幅度最大，因为夏季是麻栎林生长旺季，白天植物蒸腾作用、夜晚的呼吸作用均较强，微生物活动较为频繁，使夏季林内外气温日变化波动较大^[7]。春季林内外气温日变化幅度最小，温度差保持在1~2℃内。随着时间的推移，8:00-16:00气温均为林外高于林内，这可能是由于麻栎林的林冠反射和吸收作用削弱了太阳辐射到达林内的能量，大大降低了白天林内气温^[8]。18:00-24:00林内外温度基本保持一致，因为夜晚辐射冷却，麻栎林对气温的调节作用降到最低。

2.1.2 气温日较差变化特征 各月气温日较差均值结果显示(表1和图2)：各月气温日较差均为林内小于林外，除9月林内最高气温大于林外，各月份日较差均为正值，除6, 9, 10, 11月林内最低气温大于林外，各月份日较差均为正值，林内气温最大日较差出现在9(13.2℃)，林外气温最大日较差出现在4月(14.8℃)，说明麻栎林林分具有降低高温、提高低温的调节作用。9月南京铜山地区出现极热天气，林分阻止了林内外热量的交互，随着林内蒸发增多，负反馈大于正反馈，出现了林内最高温、最低温高

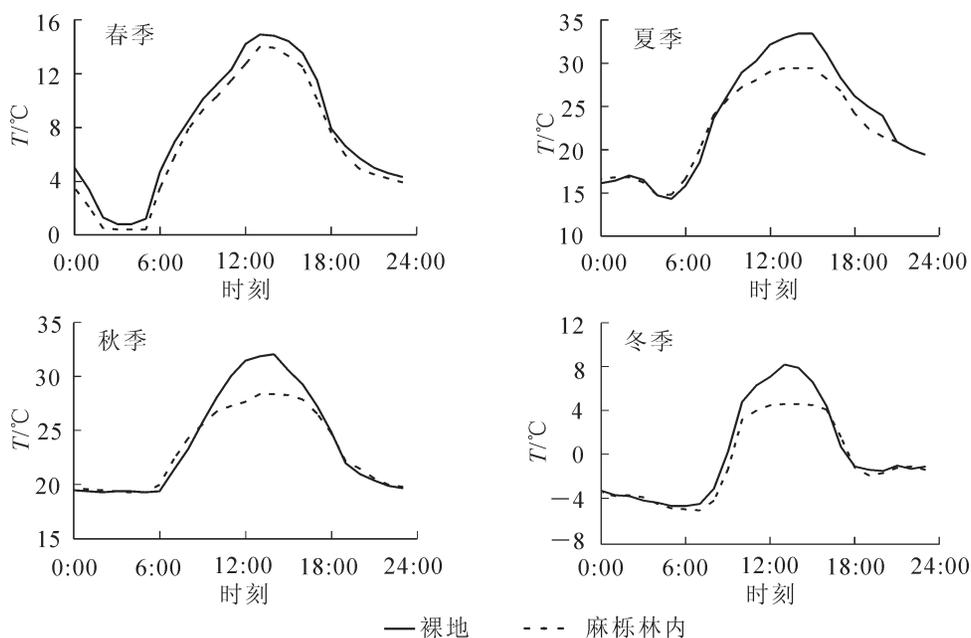


图1 不同季节林内外气温日变化

Figure 1 Diurnal variation of temperature inside and outside the forest in different seasons

于林外的现象。6 和 9 月麻栎林林内微生物活动较为频繁，10 和 11 月麻栎林枯枝落叶物增多，致使林内夜晚保温作用较为明显，白天林冠的遮荫和林分的摩擦阻挡，林内风速较林外小，热量交互作用减少，使得林内白天保温作用较好^[9]。

表 1 林内外气温日较差

Table 1 Diurnal temperature range of inside and outside the forest

月份	平均最高气温/℃			平均最低气温/℃			月份	平均最高气温/℃			平均最低气温/℃		
	林外	林内	差值	林外	林内	差值		林外	林内	差值	林外	林内	差值
1	4.0	2.6	1.5	-5.3	-5.6	0.3	7	32.4	30.2	2.3	23.8	23.7	0.1
2	10.9	9.0	1.9	0.1	-0.2	0.3	8	31.5	29.3	2.3	23.1	23.1	0.1
3	15.7	14.0	1.7	2.7	2.3	0.4	9	27.7	31.6	-3.9	18.3	18.4	-0.1
4	23.8	21.5	2.4	9.3	9.0	0.2	10	22.7	20.4	2.3	12.2	12.4	-0.2
5	28.4	25.6	2.8	14.9	14.8	0.1	11	20.0	17.9	2.2	9.5	9.6	-0.1
6	29.2	27.2	2.1	19.7	19.8	-0.1	12	8.3	7.1	1.2	-1.3	-1.3	0

2.1.3 气温月变化特征 如图 3 所示：各月份平均气温均为林内低于林外，各月份林内气温分别降低了 0.6, 0.7, 0.3, 0.5, 1.5, 0.5, 0.6, 0.6, 0.3, 0.4, 0.4, 0.2 ℃。林内外平均气温均为 7 月最高(林内 26.6 ℃，林外 27.3 ℃)。5-8 月林内气温降幅最大，此时正处于麻栎林生长旺季，说明麻栎林在生长旺季能有效降低林内气温。9-12 月林内外温差均小于 0.5 ℃，由于麻栎是落叶乔木，在冬季落叶后，随着枯枝落叶的腐烂，土壤呼吸作用随之增加，使林内降低气温的作用减弱。

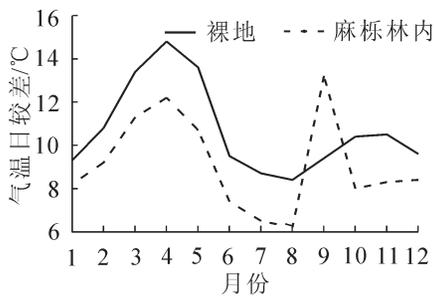


图 2 各月林内外气温日较差平均值

Figure 2 Average temperature daily range each month

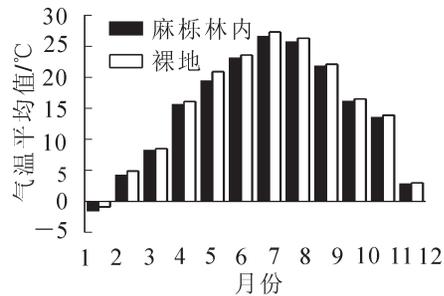


图 3 各月林内外气温平均值

Figure 3 Average temperature inside and outside the forest each month

2.1.4 气温月较差 如图 4 所示：各月份气温月较差均为林内小于林外，林内气温月较差平均值为 22.6 ℃，林外气温月较差平均值为 25.7 ℃。林内外气温月较差从大到小依次为春季、夏季、秋季、冬季。这主要是因为苏南丘陵区地处北亚热带季风气候区，春暖秋凉，夏热冬寒，四季分明，春夏季气温昼夜变化较大，使土壤呼吸作用速率增加，有利于麻栎林的生长复绿。

2.1.5 麻栎林的降温效应 全年四季的积温(为所有气温瞬时数据的总和)结果显示(图 5)：春季、夏季、秋季、冬季均为林内积温低于林外积温，其中林内外积温差，夏季最多(5 167.4 ℃)，春季次之，秋季最少(186.2 ℃)。总结林内外气温日、月、季节分析发现，麻栎林林内气温较林外气温低，对气温有一定的调节作用，降温作用较明显。

2.2 相对湿度日变化特征

2.2.1 晴天 晴天林内外相对湿度的日变化曲线显示(图 6)，无论是林内还是林外，温湿度变化均呈现对称规律，且在 7:00-18:00，林内气温低于林外气温，林内相对湿度高于林外相对湿度。林内外相对湿度在 0:00-7:00 处于相对稳定阶段，在 7:00-18:00，林内外相对湿度出现明显变化，在 14:00 相对湿度达最低点。林内外相对湿度最小值差值为 13.4%。主要是因为林内麻栎冠层的存在，使林内的乱流强度变弱，减少了林内水气的上升扩散，林内气温低和林内地表植被的作用使锁湿能力变强，当林内气温高时，蒸腾作用使林内相对湿度减少以保证林下植被的生长，所以增湿作用的峰点和降温作用的峰点相对应^[10]。

2.2.2 雨天 雨天林内外温湿度变化曲线和晴天相似，温湿度变化曲线呈对称特征，林内气温高时相对湿度低(图 7)。麻栎林在 7:00 相对湿度开始呈减少趋势，裸地在 8:00 相对湿度呈减少趋势，说明了麻

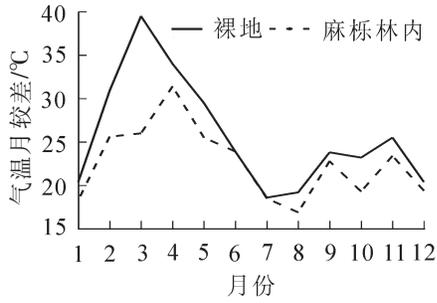


图4 各月林内外气温月较差平均值

Figure 4 Monthly range of temperature each month

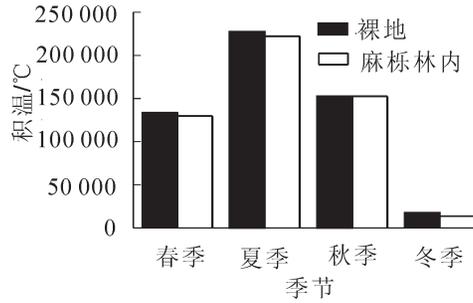


图5 各季节林内外气温积温

Figure 5 Accumulated temperature each season

栎林在白天会提前减少林内相对湿度，且麻栎林相对湿度减少和增加的速度小于裸地，麻栎林的呼吸作用和林冠层起到了保湿的作用。0:00–16:00 林内外相对湿度变化曲线呈 U 型，在 11:00 达到谷底，最大差值为 10.5%，16:00–24:00 林内外相对湿度变化曲线呈现第 2 个 U 型，在 15:00 达到谷底。

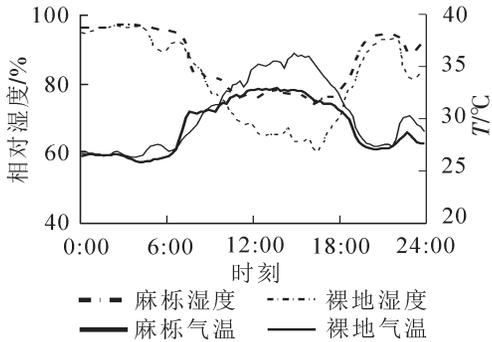


图6 晴天林内外相对湿度日变化
Figure 6 Temperature and related humidity diurnal changes on sunny days

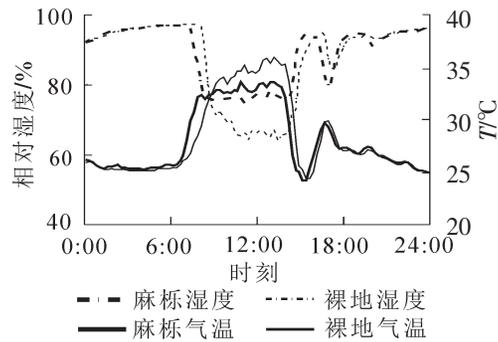


图7 雨天林内外相对湿度日变化
Figure 7 Temperature and related humidity diurnal changes on rainy days

2.2.3 阴天 阴天林内外空气温湿度变化规律较雨天和晴天弱(图 8)，林外相对湿度变化和林内气温变化规律性较差，林内变化在 4:00–7:00，10:00–16:00，19:00–21:00 较平稳，相对湿度和气温的变化规律晴雨天一致，呈现对称现象。白天林内相对湿度小于林外，林内气温小于林外。

2.2.4 月相对湿度变化特征 各月份林内外相对湿度平均值结果显示(图 9)：林内外相对湿度均为 8 月最大(92.3%，90.7%)，7 月次之(90.4%，88.8%)。3 月林内相对湿度最小，为 65.6%；4 月林外相对湿度最小，为 65.7%。林内外差值幅度最大出现在 5 月，为 2.6%。夏秋两季均为林内相对湿度大于林外，平均高幅为 1.4%，表明在枝繁叶茂的夏秋季节麻栎林的增湿效应较明显。1，2，3，12 月林内相对湿度小于林外，出现这种现象的原因是春、冬两季麻栎林季节型落叶，林内蒸发强度增强，林冠遮光保湿作

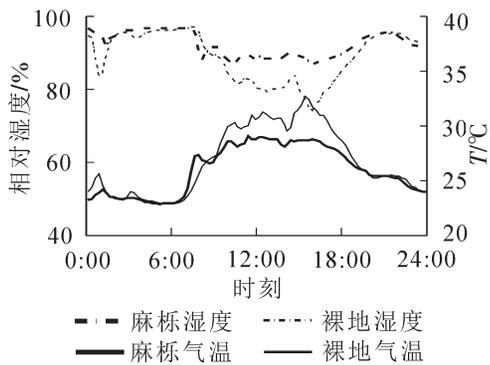


图8 阴天林内外相对湿度日变化
Figure 8 Temperature and related humidity diurnal changes on overcast days

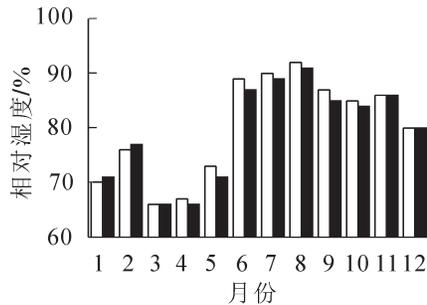


图9 不同月份林内外相对湿度平均值
Figure 9 Average value of related humidity of different months

用减弱，同时春季植物生长消耗大量林内水分，冬季凋落物腐化吸收大量地表水分，使得林内相对湿度较林外低。夏、秋季节林分郁闭度高，降雨截留和林内蒸发的水分得以长时间存在林内，使林内相对湿度较林外高^[11]。

2.2.5 麻栎林的增湿效应 统计各个季节林内外相对湿度积累量(春、夏、秋、冬四季所有湿度瞬时数据的总和)显示(图 10)：春、夏、秋、冬季均为林内高于林外。夏季相对湿度积累量最多，秋季林内外相对湿度积累量次之，春季相对湿度积累量最少。林内外相对湿度积累量差值夏季最大，林内外相对湿度积累量差值为 18 048.99%，最小的为冬季 4 464.27%。

由麻栎林各月降雨量计算得出林内外湿润表(表 2)。由表 2 可知：全年无干旱天气，林内湿润指数均高于林外。林内外湿润度有较强的同步性。2, 7, 8, 9, 10, 11, 12 月林内外湿润度表现为湿润；1, 3, 4, 5 月林内外湿润度为半湿润；1, 3, 4, 5 月林下植物生长繁茂，呼吸作用下消耗大量林内水分。2 月降雨补充较多，所以表现为湿润。全年林内湿润度为 1.54，为苏南地区麻栎林的生长提供湿润的生长环境。

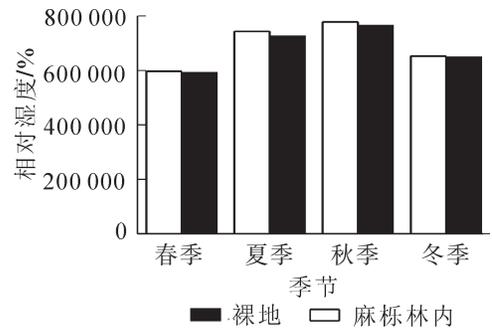


图 10 各个季节林内外相对湿度积累量
Figure 10 Accumulation of related humidity inside and outside of each season

表 2 麻栎林各月份降雨量及林内外湿润表

Table 2 Rainfall each month and degree of wetness inside and outside the forest

月份	降雨量/ mm	湿润度		月份	降雨量/ mm	湿润度		月份	降雨量/ mm	湿润度	
		林内	林外			林内	林外			林内	林外
1	20.8	0.74	0.68	6	37.8	0.83	0.69	11	45.7	1.26	1.01
2	75.3	2.15	2.01	7	178.2	3.88	3.25	12	45.2	1.63	1.62
3	61.2	0.90	0.88	8	206.0	5.79	4.65	全年	949.2	1.54	1.39
4	67.1	0.69	0.64	9	73.3	1.35	1.21				
5	80.3	0.81	0.72	10	58.3	1.28	1.18				

2.3 相关性

2.3.1 线性分析 根据全年的观测数据，对林内外温湿度进行统计分析和曲线模拟得到表 3，发现林内外气温和林内外相对湿度均有较强的相关性，林内外气温相关系数除 9 月外，均在 0.98 以上，具有显著的线性关系，经检验相关性显著($P < 0.001$)。9 月林内气温波动较大，9 月 16-17 日出现日平均气温达 30.8 和 28.3 °C，均明显高于本月其他日平均气温。林内外相对湿度变化相关性和气温变化相关性基本一致，在 9 月气温波动剧烈时，相对湿度相关性显著程度最差，其余各月相关性均在 0.95 以上。夏季林内外温湿度相关性最差，可能是因为夏季树冠遮荫和林内植物蒸腾作用达到最高^[12]，林内温湿度主要受林内植物自身活动影响。其他季节，林内外温湿度变化走势趋于一致。

2.3.2 全年温湿度相关性分析 根据全年观测数据对麻栎林林内外气温、相对湿度进行独立样本 *t* 检验。结果显示：显著性 $P_{\text{气温}}=0.582 > 0.05$ ， $P_{\text{相对湿度}}=0.229 > 0.05$ ，林内外温湿度全年差异性不显著。这说明：从全年看麻栎林降温保湿作用较弱。夏季 $P_{\text{相对湿度}}=0.004 < 0.05$ ，春季 $P_{\text{气温}} > \text{全年 } P_{\text{气温}} > \text{秋季 } P_{\text{气温}} > 0.05$ ，冬季 $P_{\text{湿度}} > \text{秋季 } P_{\text{湿度}} > \text{春季 } P_{\text{湿度}} > 0.05$ 。夏季增湿作用较显著，降温显著性较差，春季麻栎林调节气温的作用最差，冬季麻栎林调节湿度的作用最差。麻栎林是落叶乔木，夏季林分枝繁叶茂，林内微生物活动频繁，林冠遮盖作用和林内蒸发蒸腾作用下保湿作用优于其他季节，冬季落叶后降温保湿作用得不到体现，春季为麻栎林次年生长初期，林冠盖度小且林内植被生长需水量大，林内气温受林缘自然风影响严重，降温效果为全年最差。

2.3.3 夏季温湿度相关性分析 对全年相关性分析发现夏季气温变化不显著。张昌顺等^[13]在北京城市绿地对热岛效应的缓解作用中指出：林分对气温的调节作用在白天和夜晚有较大的差异。根据夏季收集数据将 8:00, 14:00 和 20:00 时的数据整合进行 SPSS 分析，结果显示：8:00 时夏季 $P_{\text{气温}}=0.798 > 0.05$ ，夏季 $P_{\text{相对湿度}}=0.789 > 0.05$ ，14:00 时夏季 $P_{\text{气温}}=0.005 < 0.05$ ，夏季 $P_{\text{相对湿度}}=0.003 < 0.05$ ，20:00 时夏季 $P_{\text{气温}}=$

0.86 > 0.05, 夏季 $P_{\text{相对湿度}} = 0.776 > 0.05$, 表明在中午时分麻栎林降温增湿作用均较强, 植物主要通过自身蒸腾作用消耗周围的热量来达到降温效应^[14], 麻栎林夏季中午时分林内蒸腾作用最强, 所以夏季中午林分降温作用较其他时段显著。

表3 林内外温湿度回归方程

Table 3 Temperature and related humidity regression equation inside and outside the forest

月份	气温(林内 y , 林外 x)		相对湿度(林内 y , 林外 x)		样本数
	回归方程	相关系数	回归方程	相关系数	
1	$y=0.984\ 9x-0.576\ 2$	0.992 3	$y=0.972\ 9x+0.031\ 6$	0.996 4	2 976
2	$y=0.967\ 4x-0.506\ 3$	0.989 0	$y=0.968\ 1x+0.030\ 5$	0.996 2	2 688
3	$y=1.024\ 0x-0.536\ 0$	0.995 6	$y=1.002\ 3x-0.000\ 5$	0.996 7	2 976
4	$y=0.973\ 2x-0.037\ 6$	0.996 5	$y=0.944\ 0x+0.051\ 4$	0.979 6	2 880
5	$y=0.964\ 5x+0.086\ 3$	0.996 0	$y=0.929\ 4x+0.075\ 8$	0.983 0	2 975
6	$y=0.914\ 6x+1.479\ 9$	0.988 6	$y=0.828\ 4x+0.168\ 7$	0.960 3	2 880
7	$y=0.881\ 7x+2.582\ 9$	0.991 3	$y=0.674\ 3x+0.305\ 3$	0.954 8	2 976
8	$y=0.907\ 6x+1.855\ 4$	0.992 5	$y=0.651\ 8x+0.332\ 4$	0.936 1	2 976
9	$y=1.109\ 1x-2.645\ 8$	0.921 9	$y=0.888\ 3x+0.113\ 9$	0.873 1	2 880
10	$y=0.953\ 9x+0.370\ 9$	0.986 1	$y=0.863\ 9x+0.123\ 3$	0.966 1	2 976
11	$y=1.013\ 6x-0.549\ 2$	0.997 6	$y=0.963\ 0x+0.034\ 6$	0.978 1	2 880
12	$y=0.720\ 2x+0.607\ 4$	0.997 9	$y=0.941\ 1x+0.045\ 7$	0.962 7	2 360
全年	$y=0.886\ 6x+1.207\ 6$	0.972 3	$y=0.961\ 8x+0.042\ 3$	0.978 0	

说明: 差异显著性水平为 $P < 0.001$

3 结论

通过2012年1月1日至12月25日的观测, 研究了麻栎林林内外温湿度年际变化特征, 主要结论为: ①本研究中林内外气温日变化幅度从大到小排列为: 夏季、秋季、冬季、春季, 林内最大日较差出现在9月, 林外最大日较差出现在4月, 林内气温振幅均小于林外气温振幅, 林内由于林冠遮荫减少了林内外热量的交互, 以及枯枝落叶的覆盖, 使林内气温振幅较林外裸地小, 表明麻栎林在生长旺季由于林内微生物活动、蒸腾作用最高, 麻栎林夜晚保温, 白天降温的作用较明显。②5-8月麻栎林降低气温幅度最大, 9-12月林内外温差均小于0.5℃, 林内外气温月较差从大到小均依次为春季、夏季、秋季、冬季。全年积温均为林内低于林外, 季节积温从大到小依次为夏季、春季、冬季、秋季。表明麻栎林的存在可以有效降低全年林内气温总和, 在生长旺季麻栎林能有效降低林内气温, 季节性落叶后降低温作用越来越弱。③晴天、雨天、阴天林内外相对湿度日变化曲线为U型, 温湿度变化曲线相互对称。林内外相对湿度均为8月最大, 夏秋两季相对湿度均为林内高于林外, 表明麻栎林林冠的遮盖作用, 使林内的风速较林外小, 有效减少了林内外乱流交换, 林内蒸发作用和植被蒸腾产生的水蒸气可以长时滞留在林内近地面, 使得林内湿度较林外湿度高, 麻栎林具有显著的增湿作用, 春、冬两季麻栎林落叶后林内蒸发速度较快, 林冠遮荫保湿作用减弱, 春季植物生长消耗大量林内水分, 冬季枯落物腐化吸收大量水分。夏、秋季节林分郁闭度高, 降雨截留和林内蒸发的水分得以长时间存在林内, 使林内相对湿度较林外高。④麻栎林可以改良土壤的湿润程度, 可以有效保持林分的湿润度, 为林下生物活动提供良好的生长环境。通过整合全年降雨量数据, 计算出麻栎林林内外全年的湿润度, 全年无干旱, 林内湿润指数和林内温湿度关系密切, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12月林内外湿润度为湿润, 1, 3, 4, 5月林内外湿润度为半湿润, 全年林内外湿润度林内(1.54)大于林外(1.39), 为湿润。⑤林内外温湿度具有显著线性关系, 全年气温线性回归方程为 $y = 0.886\ 6x + 1.207\ 6$, $R^2 = 0.972\ 3$, 全年相对湿度线性回归方程为 $y = 0.961\ 8x + 0.042\ 3$, $R^2 = 0.978\ 0$ 。根据全年观测数据对麻栎林林内外气温、相对湿度进行均值检验, 林内外温湿度全年差异性不显著, 但是夏季湿度 $P < 0.05$, 14:00温湿度 $P < 0.05$, 说明了在生长旺季的夏

季麻栎林的降温增湿作用显著, 优于其他季节, 且在中午时分降温增湿作用较显著, 春季麻栎林生长复绿后林分起到的降温作用最弱, 冬季麻栎林落叶后林分起到的增湿作用最弱。

4 参考文献

- [1] 郭学兵, 苏文, 于贵瑞. 生态环境长期定位监测信息化管理研究[J]. 资源科学, 2003, **25**(1): 54 – 58.
GUO Xuebing, SU Wen, YU Guirui. Computerized management of long-term ecological monitoring [J]. *Resour Sci*, 2003, **25**(1): 54 – 58.
- [2] 吴力立. 南京城市森林的空气湿度特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2008, **32**(4): 51 – 54.
WU Lili. Characteristics of air humidity in urban forest in Nanjing [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2008, **32**(4): 51 – 54.
- [3] THANI S K S O, MOHAMAD N H N, ABDULLAH S M S. The influence of urban landscape morphology on the temperature distribution of hot-humid urban centre [J]. *Proced Soc Behav Sci*, 2013, **85**: 356 – 367.
- [4] 欧阳学军, 黄忠良, 周国逸, 等. 鼎湖山 4 种主要森林的温度和湿度差异[J]. 热带亚热带植物学报, 2003, **11**(1): 53 – 58.
OUYANG Xuejun, HUANG Zongliang, ZHOU Guoyi, et al. Difference air temperature and moisture in forests in Dinghushan [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2003, **11**(1): 53 – 58.
- [5] 邵永昌, 庄家尧, 王柏昌, 等. 上海地区主要绿化树种夏季光合特性和固碳释氧能力研究[J]. 安徽农业大学学报, 2016, **43**(1): 94 – 101.
SHAO Yongchang, ZHUANG Jiayao, WANG Baichang, et al. Photosynthetic characteristics and carbon sequestration and oxygen release capacity of the main urban landscape tree species during summer in Shanghai [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2016, **43**(1): 94 – 101.
- [6] 李春梅, 高素华. 我国北方半干旱区草地水分供需状况研究[J]. 干旱区研究, 2004, **21**(4): 338 – 342.
LI Chunmei, GAO Suhua. Study on the moisture budget to the grasslands in the semiarid regions in North China [J]. *Arid Zone Res*, 2004, **21**(4): 338 – 342.
- [7] 杨文睿. 北亚热带次生栎林森林小气候特征研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
YANG Wenrui. *Study on Micro-climate Characteristics of North Subtropical Secondary Oak Forests* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009.
- [8] SHIMIZU Y. Vegetation of Mukojima Island Group in the Bonin (Ogasawara) Islands with reference to the ecology of ardisia dominant forest and the influence of feral goats [J]. *Komazawa Geogr*, 1993, **29**: 54 – 58.
- [9] MURAKAMI T, FUJII H, IMADA M. Comparison of correction methods for topographic effects on Landsat TM Data: for sugi-stands in the Kyushu University forest in Miyazaki [J]. *Bull Kyushu Univ For*, 1998, **78**: 13 – 28.
- [10] 陈国瑞, 李天佑, 俞益武, 等. 杭州常绿阔叶林对林内近地层温度和湿度的调节效应[J]. 浙江林学院学报, 1994, **11**(2): 151 – 158.
CHEN Guorui, LI Tianyou, YU Yiwu, et al. Regulating effect of evergreen broadleaved forest on temperature and humidity in near forest layer in Hangzhou [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1994, **11**(2): 151 – 158.
- [11] 刘玉杰. 天然落叶松林冠截留及林内雨延滞效应研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
LIU Yujie. *Canopy Interception and Lag Effect of Rain Forest in Natural Larch Forest* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2016.
- [12] 陈亚锋. 几种常见森林类型小气候特征研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2011.
CHEN Yafeng. *The Microclimate Characteristics of Several Types of Forests* [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2011.
- [13] 张昌顺, 谢高地, 鲁春霞, 等. 北京城市绿地对热岛效应的缓解作用[J]. 资源科学, 2015, **37**(6): 1156 – 1165.
ZHANG Changshun, XIE Gao, LU Chunxia, et al. Beijing urban green space relieves heat island effect [J]. *Resour Sci*, 2015, **37**(6): 1156 – 1165.
- [14] 陈丽文, 尹娟. 11 种园林植物增湿降温效应研究[J]. 北方园艺, 2016(20): 67 – 70.
CHEN Liwen, YIN Juan. Effect research of eleven kinds of landscape plants of humidification and cooling [J]. *Northern Gardening*, 2016(20): 67 – 70.