

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第10期 Vol.34 No.10 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 10 期 2014 年 5 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 景观可持续性与景观可持续性科学..... 赵文武,房学宁 (2453)
- 生态系统服务付费的诊断框架及案例剖析 朱文博,王 阳,李双成 (2460)
- 湿地植物根表铁膜研究进展..... 刘春英,陈春丽,弓晓峰,等 (2470)
- 水生生态环境中捕食信息素的生态学效应..... 覃光球,卢豪良,唐振柱,等 (2481)
- 脊椎动物传播植物肉质果中的次生物质及其生态作用 潘 扬,罗 芳,鲁长虎 (2490)

个体与基础生态

- 中亚热带天然林土壤 CH₄吸收速率对模拟 N 沉降的响应 陈朝琪,杨智杰,刘小飞,等 (2498)
- 塔里木盆地南缘早生芦苇生态特征与水盐因子关系..... 贡 璐,朱美玲,塔西甫拉提·特依拜,等 (2509)
- 黄刺玫叶片光合生理参数的土壤水分阈值响应及其生产力分级..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (2519)
- 亚热带杉木和米老排人工林土壤呼吸对凋落物去除和交换的响应..... 余再鹏,万晓华,胡振宏,等 (2529)
- 施钾提高蚜害诱导的小麦茉莉酸含量和叶片相关防御酶活性..... 王 祎,张月玲,苏建伟,等 (2539)
- 高浓度 O₃及太阳辐射减弱对冬小麦 PS II 光合活性及光能耗散的影响
..... 孙 健,郑有飞,吴荣军,等 (2548)
- 蜡样芽孢杆菌 B3-7 在大田小麦根部的定殖动态及其对小麦纹枯病的防治效果
..... 黄秋斌,张 颖,刘凤英,等 (2559)
- 有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究..... 张兴娟,薛绪掌,郭文忠,等 (2567)
- 抗真菌转基因水稻生态适合度评价..... 李 伟,郭建夫,袁红旭,等 (2581)
- 花生叶片蛋白组对 UV-B 辐射增强的响应 杜照奎,李钧敏,钟章成,等 (2589)
- 南海南部悬浮颗粒物脂肪酸组成..... 刘华雪,柯常亮,李纯厚,等 (2599)
- 年龄、集群、生境及天气对鄱阳湖白鹤越冬期日间行为模式的影响..... 袁芳凯,李言阔,李凤山,等 (2608)
- [树]麻雀羽再生的能量预算和水代谢散热调节 杨志宏,吴庆明,杨 渺,等 (2617)
- 低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理 李 锐,李 娜,刘 佳,等 (2629)
- 空心莲子草叶甲对越冬保护的响应与控害效能..... 刘雨芳,王秀秀,李 菲,等 (2638)
- ### 种群、群落和生态系统
- 气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响..... 李言阔,钱法文,单继红,等 (2645)
- 不同退耕年限下菜子湖湿地土壤磷素组分特征变化..... 刘文静,张平究,董国政,等 (2654)

- 查干湖湿地浮游植物与环境因子关系的多元分析 李然然,章光新,张 蕾 (2663)
- 闽江河口区淡水和半咸水潮汐沼泽湿地土壤产甲烷菌多样性..... 曾志华,杨民和,余晨兴,等 (2674)
- 环境及遗传背景对延河流域植物叶片和细根功能性状变异的影响..... 郑 颖,温仲明,宋 光,等 (2682)
- 衡阳紫色土丘陵坡地植被恢复阶段土壤特性的演变..... 杨 宁,邹冬生,杨满元,等 (2693)
- 海平面上升影响下广西钦州湾红树林脆弱性评价..... 李莎莎,孟宪伟,葛振鸣,等 (2702)
- 中国南方3种主要人工林生物量和生产力的动态变化..... 杜 虎,曾馥平,王克林,等 (2712)
- 杉木人工林土壤真菌遗传多样性..... 何苑曦,周国英,王圣洁,等 (2725)
- 科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应..... 张腊梅,刘新平,赵学勇,等 (2737)
- 黄土丘陵区退耕还林地刺槐人工林碳储量及分配规律..... 申家朋,张文辉 (2746)

景观、区域和全球生态

- 南亚热带森林演替过程中小气候的改变及对气候变化的响应..... 刘效东,周国逸,陈修治,等 (2755)
- 黄淮海平原典型站点冬小麦生育阶段的干旱特征及气候趋势的影响..... 徐建文,居 辉,刘 勤,等 (2765)

资源与产业生态

- 基于GIS的山西省矿产资源规划环境影响评价 刘 伟,杜培军,李永峰 (2775)
- 基于效益分摊的水电水足迹计算方法——以密云水库为例 赵丹丹,刘俊国,赵 旭 (2787)

学术信息与动态

- 全球土地计划第二次开放科学大会(GLP 2nd Open Science Meeting)会议述评 段宝玲,卜玉山 (2796)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 348 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 36 * 2014-05



封面图说: 鄱阳湖越冬的白鹤群——白鹤为国家一级保护动物,世界上白鹤东部种群的迁徙路线是从俄罗斯西伯利亚的雅库特,向南迁飞 5100km 到中国长江下游的鄱阳湖越冬,其中途经俄罗斯的雅纳河、印迪吉尔卡河和科雷马河流域,进入中国后主要停歇地有扎龙、林甸、莫莫格以及双台河口、滦河口、黄河三角洲和升金湖等地。多年的监测表明,世界 90% 以上的白鹤种群都在鄱阳湖越冬。越冬初期和末期是白鹤补充能量的关键阶段,因此,研究鄱阳湖国家级自然保护区越冬白鹤种群数量和当地气候变化的相关性具有重要意义。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201307231934

刘效东, 周国逸, 陈修治, 张德强, 张倩媚. 南亚热带森林演替过程中小气候的改变及对气候变化的响应. 生态学报, 2014, 34(10): 2755-2764.

Liu X D, Zhou G Y, Chen X Z, Zhang D Q, Zhang Q M. Forest microclimate change along with the succession and response to climate change in south subtropical region. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(10): 2755-2764.

南亚热带森林演替过程中小气候的改变 及对气候变化的响应

刘效东^{1,2}, 周国逸^{1,*}, 陈修治¹, 张德强¹, 张倩媚¹

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 区域水热格局变化和系统演替深刻影响森林内部小气候, 不同演替阶段森林内部水热环境对气候变化的响应和反馈作用有待进一步认识和评估。以南亚热带地区的 3 种不同演替阶段代表性森林生态系统 (人工恢复的马尾松针叶林 (*Pinus massoniana* coniferous forest, PF)、马尾松针阔叶混交林 (mixed *Pinus massoniana*/broad-leaved forest, MF) 和季风常绿阔叶林 (monsoon evergreen broad-leaved forest, MEBF)) 为研究对象, 通过分析其林内小气候林型间差异以及时间序列上的动态变化, 探讨森林系统内部水热环境的改变机理。结果表明: 演替驱动下, 随着 PF→MF→MEBF 的正向发展, 林内温度条件如气温、土壤温度逐渐降低, 林内相对湿度、土壤层及凋落物含水量等水分状况逐步升高。不同林型在“雨热同期”的南亚热带地区其“降温效应”有差, 演替初期的 PF 干、湿季“降温效应”分别为 7.9% 和 3.6%, 中期 MF 分别为 11.6% 和 6.4%, 顶级群落 MEBF 干、湿季“降温效应”可达 15.7% 和 10.5%。总体上, 随演替“降温增湿”效应越来越显著, 且“降温”表现为干季更明显, 而“增湿”表现为湿季明显。此外, 演替驱动下后期森林对高温及土壤温度的调节作用更为突出。时间序列上, 区域降水趋于“极端化”的格局影响下, 森林生态系统的水分固持能力下降。主要表现为: 自 1984 年以来, 3 种林型 0—50cm 土壤含水量均呈显著降低的趋势 ($P < 0.001$), 且湿季土壤含水量下降速率高于干季, 林型间在全年及湿季均为 MF>MEBF>PF, 干季为 MEBF>MF>PF。虽然研究期间 3 种林型林内气温、土壤温度无明显趋势性变化, 但顶级群落 MEBF 林内相对湿度 ($P = 0.021$)、凋落物自然状态下含水量 ($P = 0.003$) 在年际尺度上均呈现显著下降的趋势。与土壤含水量干、湿季下降速率的格局一致, 二者也均为湿季大于干季。研究认为, 成熟森林可能在当前南亚热带区域气候变化及水热格局改变背景影响下更为敏感和脆弱。

关键词: 鼎湖山; 小气候; 水热环境; 森林演替; 气候变化

Forest microclimate change along with the succession and response to climate change in south subtropical region

LIU Xiaodong^{1,2}, ZHOU Guoyi^{1,*}, CHEN Xiuzhi¹, ZHANG Deqiang¹, ZHANG Qianmei¹

1 South China Botanical Garden; Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Forest microclimate is deeply affected by the regional water-thermal pattern change and ecosystem succession. So, it needs to be further studied and assessed about the responses and feedbacks of different successional forests to the current climate change. In this study, we focused on three undisturbed forests in the Dinghushan biosphere reserve *Pinus massoniana* forest (PF), Mixed *Pinus massoniana*/ broad-leaved forest (MF), Monsoon evergreen broad-leaved forest (MEBF), which forming a natural successional sequence in the south subtropical region of China. By analyzing the microclimates in the three different successional forests and their time-series dynamic trends, the changing mechanisms of

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) (2009CB421101); 国家自然科学基金项目 (NSFC31170375)

收稿日期: 2013-07-23; 网络出版日期: 2014-02-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gyzhou@scib.ac.cn

forest water-thermal environment were explored. Analysis results indicated that: Driven by the succession from artificial planted PF to transitional forest MF to climax forest MEBF, forest air temperature and surface soil temperature both reduced significantly. Contrarily, the relative air humidity and water content of surface soil and litter increased gradually. In the south subtropical region, where rain and heat appears at the same period, the “cooling effects” of the three forests were different. The air temperatures within PF were 7.9% and 3.6% less than the CK in dry and wet season, respectively; Transitional period MF were 11.6% and 6.4% lower, and climax forest MEBF were 15.7% and 10.5%, respectively. On the whole, the forest “cooling and damping effects” had been strengthened over succession. In particular, the “cooling effect” was more prominent in dry season than in wet season, while the “damping effect” was more obvious in wet season. What is more, the later period forest was more advantageous in regulation of maximum air temperature and soil temperature. Seen from the time-series data, the moisture holding ability of forest also declined due to the global warming and regional precipitation pattern change, especially the intensification of rainfall storms and the increasing number of annual no-rain days. Mainly shows that the 0—50cm depth soil moisture of three forests all declined significantly from the year 1984 ($P < 0.001$), and the average decreasing rate in wet season was faster than that of dry season. Besides, the average decreasing rate of three forest soil moisture presented the follow order in both annual and wet seasons: MF>MEBF>PF, while in dry seasons it was MEBF>MF>PF order, similarly. Finally, although the air temperature, soil temperature of the three forests changed little during the study period, the relative air humidity ($P=0.021$) and natural water content of litter ($P=0.003$) of climax community MEBF both decreased significantly. Consistent with the variation trend of soil moisture, the average decreasing rate of relative air humidity and litter water content also presented to be faster in wet seasons than in dry seasons. We concluded that the mature forest tends to be more sensitive and vulnerable to the regional climate and water-thermal pattern change in south subtropical region of China.

Key Words: Dinghushan; microclimate; water-thermal environment; forest succession; climate change

水热问题历来是生态系统环境研究、生物与环境交互研究的核心问题,是生态学在环境研究方面的重要内容^[1]。森林内部水热环境控制着生态系统内部一系列理、化、生过程,并最终决定着系统生产力及其系统的长期稳定。

广义而言,森林内部水热环境受植被演替与气候变化两种驱动力的影响。对于特定区域,森林水热环境根本上受控于以生物多样性为表征的系统演替及其影响下的生态系统水、热过程。基于热带北缘退化生态系统恢复的实践经验是:以水热为代表的环境条件逐步改善以带动生物多样性指数提高,而后者又加速中生代环境的过程^[2]。大尺度上,森林水热环境决定于区域水热条件,并受气候变化的综合影响。不同类型或演替阶段生态系统由于其内部相互补偿和自组织调节能力不同,森林水热环境也会产生不同的响应和适应,对气候变化的反馈和调节作用亦不同^[3]。

森林小气候的监测及内部水热环境的研究是开展其他结构与功能研究的基础^[4]。然而国内真正系

统的研究则是在解放后^[5]。近年来,国内外有关生态系统内部水热问题的研究多集中在林内外小气候差异比较(或通过梯度观测来研究林内小气候的垂直梯度分异)^[6-8]、森林系统内部水热环境影响生态系统过程和功能,以及基于林外气温等外界水热条件改变来模拟气候变化对生态系统过程的可能影响等方面^[9-11]。在此,本研究认为生态系统过程主要发生在生态系统内部,气候变化是通过影响森林内部环境而间接作用于生态系统过程,森林内部与外界环境的水热变化格局存在差异,不同演替阶段的森林内部水热环境的响应亦不相同。因此,以地带性顶级群落为对照开展系统演替及区域水热格局改变对森林内部水热环境的影响研究有其特殊意义。

选取该地区代表性顶级群落季风常绿阔叶林(MEBF)及其演替序列上的初期马尾松人工林(*Pinus massoniana* forest, PF)、中期马尾松针阔叶混交林(mixed *Pinus massoniana*/ broad-leaved forest, MF)为研究对象,依托其森林林内小气候监测以及系统下垫面土壤、凋落物层水分状况的长期

测定数据,对其演替/恢复过程中系统内部水热环境变化及其时间序列上的动态进行了分析,试图阐明“不同演替阶段森林对外界环境的屏蔽作用不同”这一观点。以期有关生态系统过程对气候变化响应的模拟研究及未来森林生态系统服务功能的评估等提供理论参考和依据。

1 研究区及 3 种林分概况

鼎湖山国家级自然保护区(112°30'39"—112°33'41" E, 23°09'21"—23°11'30" N)地处我国亚热带,位于广东省肇庆地区境内。本区大部分为低山丘陵,海拔在 100—700m。气候属亚热带季风湿润型气候,水热资源丰富,干季(10—翌年 3 月)、湿季(4—9 月)分明。多年平均年降水量为 1 678 mm,其中 80%的降水分布在湿季。年平均气温 21.4 °C,

最冷月(1 月)和最热月(7 月)的平均气温分别为 12.6 和 28.0 °C。年平均蒸发量为 1 115 mm,年平均相对湿度为 82%,偶见灾害性天气(主要为寒潮和台风)^[12]。该保护区由两个相对独立的集水区组成:东沟(613.2 hm²)和西沟集水区(542.8 hm²)。土壤类型主要为赤红壤和黄壤,平均土层厚度约 50—80 cm。PF 和 MF 下为赤红壤,土层浅薄;MEBF 下为水化赤红壤,局部地区土层厚度在 100 cm 以上。这里分布着包括演替初期的 PF、过渡阶段的 PBF 和演替后期的 MEBF^[10]在内的多种植被类型,其中 MEBF 群落外貌终年常绿,垂直结构复杂,为本区地带性顶级群落。优势树种主要为锥栗(*Castanopsis chinensis*)、木荷(*Schima superba*)、厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)和华润楠(*Machilus chinensis*)等。

表 1 研究区 3 种森林类型的基本特征

Table 1 Basic characteristics of the three forests in the study area

森林类型 Forest types	马尾松针叶林 <i>Pinus massoniana</i> coniferous forest (PF)	马尾松针阔叶混交林 Mixed <i>Pinus massoniana</i> / broad-leaved forest (MF)	季风常绿阔叶林 Monsoon evergreen broad- leaved forest (MEBF)
演替阶段 Successional stage	初期	过渡	顶极
海拔高度 Altitude /m	200—300	220—300	220—300
坡向 Slope aspect	西南	西南	东北
坡度 Slope gradient/(°)	25—30	28—35	25—33
林龄 Forest age /a	50—60	70—80	>400
生物量 Biomass / (t/hm ²) ^[14]	122	260	380
乔木密度 Tree density (No./hm ²) ^[15]	767	1933	1729
平均树高 Mean tree height/m ^[15]	5.8	5.5	7.0
平均胸径 Mean diameter at breast height/cm ^[15]	12.2	7.3	10.2
叶面积指数 Leaf area index ^[14]	3.6	4.8	6.2
郁闭度 Canopy coverage /% ^[14]	50	>90	>95
土壤类型 Soil type	薄中赤红壤	厚薄赤红壤	水化赤红壤
优势种 Dominant species	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	木荷 <i>Schima superba</i> , 锥栗 <i>Castanopsis chinensis</i> , 马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	锥栗 <i>Castanopsis chinensis</i> , 木荷 <i>Schima superba</i> , 厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>

2 研究方法

按《地面气象观测规范》在 3 个代表性林型内设置百叶箱和仪器(ZJ₁₋₁温湿度计,上海气象仪器厂)24h 连续记录各林型林内气温和相对湿度。林内百叶箱干湿球湿度表感应端距地 1.5m,并结合人工观测气温(包括干湿球、最高、最低温度)和地温(地表温度、地表最高温和最低温,5、10、15、20cm 深处的

土温),每天观测 3 次,8:00、14:00、和 20:00,2:00 时缺,但在统计时已按气象观测规范所规定的订正方法对 2:00 的值进行了订正^[16]。自动记录中缺测时段的数值用内插补法。以定位站气象监测数据为林外空地对照,其与 3 林型样地相距均较近。MEBF 林内小气候的监测为 1993 年 10 月—2001 年 3 月, MF 和 PF 小气候监测为 1994 年 7 月—2001 年 9 月。1984—2009 年 3 个林型林内土壤含水量结合使用烘

重法和中子水分仪(CNC503B,北京超能科技公司,北京)两种方法测定。1999—2011年,3种林型凋落物含水量测定方法为在3个林型分别设置6个0.3m×0.3m的小样方,并于60℃烘箱烘干,称重求算。

3 结果分析

3.1 演替驱动下的森林水热环境变化

3.1.1 林内气温

3种林型内气温,包括平均气温、最高温和最低温3个温度指标的比较列于表2。研究期间,林外空地(CK)气象站监测年均气温为22.7℃。林型间,MEBF年平均温度和最高温均为3种林分最低,相较于PF“降温效应”分别为8.5%(1.8℃)和25.0%(5.8℃)。而年平均最低温表现为MEBF略高于MF

和PF,这表明在日尺度上低温的夜间MEBF林分可能存在一定的“保温效应”。就3种林型的平均温度的干、湿季格局而言,干季平均温度PF、MF和MEBF比临近空地气象站(CK)分别低1.4、2.1℃和2.9℃,而湿季三者分别为1.0、1.7℃和2.8℃;此外,MEBF林内平均最高温在干季、湿季低于PF更显著,分别达5.1℃和6.3℃。“降温效应”在干季更明显,这无疑与干季南亚热带地区相对充足的热量较之相对匮乏的降水背景下MEBF完善的系统结构及优越的水热调蓄功能有关。“保温效应”针对于平均最低温而言,在干、湿季MEBF较PF分别高1.7℃和0.9℃,干季更加显著。总的来讲,随着林型PF→MF→MEBF演替的进行,林内平均气温、最高温逐渐降低,森林调节温度的能力逐步增强。

表2 3种林型林内气温的比较(1993—2001年)

Table 2 Comparison of monthly air temperatures of the three forests in 1993—2001

月份 Month	月平均气温 Monthly averaged air temperatures				月平均最高温 Monthly averaged maximum air temperatures			月平均最低温 Monthly averaged minimum air temperatures		
	MEBF	MF	PF	CK	MEBF	MF	PF	MEBF	MF	PF
1	11.2	11.1	12.1	14.4	16.5	21.8	23.9	9.5	6.3	6.3
2	10.3	12.5	13.2	14.9	12.5	16.4	17.5	9.1	6.7	6.6
3	16.4	16.6	17.8	18.3	19.4	20.5	25.8	14.3	11.0	12.6
4	18.2	21.0	22.2	22.8	20.3	26.5	28.9	15.8	16.3	14.5
5	23.6	24.2	25.1	25.9	29.1	30.1	33.0	18.2	19.5	21.0
6	25.5	26.6	26.7	28.1	29.8	30.6	32.8	23.2	23.8	22.6
7	26.1	26.8	27.3	28.7	30.0	32.1	35.7	23.6	24.3	23.4
8	25.5	27.5	27.7	28.8	28.5	30.3	34.5	23.9	24.3	20.9
9	24.2	24.5	25.7	27.4	28.1	30.5	31.9	22.3	21.5	19.3
10	21.7	23.1	23.5	25.4	25.9	26.3	30.9	18.6	18.5	18.5
11	18.0	20.4	19.0	21.2	22.3	27.8	27.7	14.6	13.5	12.7
12	13.7	14.8	15.0	16.6	16.2	23.2	25.6	10.9	9.3	10.0
均值 Average	19.5	20.8	21.3	22.7	23.2	26.3	29.0	17.0	16.2	15.7

3.1.2 林内相对湿度

3种林型林内相对湿度季节变化见图1。MEBF年均相对湿度最高,林型间表现为MEBF(89.7%)>MF(81.9%)>PF(80.6%)。在干、湿季尺度上,林内平均相对湿度表现为干季(10—翌年3月)MEBF(84.3%)>MF(78.1%)>PF(77.3%),湿季MEBF(95.0%)>MF(86.5%)>PF(84.0%)。顶级群落MEBF相比于初期阶段PF林内“增湿效应”分别为8.3%和11.6%,湿季效应大于干季。相对湿

度的高低与降雨量有关(图1),以MEBF为例Pearson相关系数80.7%。降雨量大的月份,湿度也相对较大,但相对湿度的年内变异(CV<10%)远小于降水量变化,尤其是湿季(4—9月)。此外,就干季林内相对湿度的格局来看,10—12月林内相对湿度较之1—3月更低,这主要是由于除该时期均受控于较少的降水量之外,1—3月该区域低温背景下驱动蒸散的热量较少,水分散失更少。

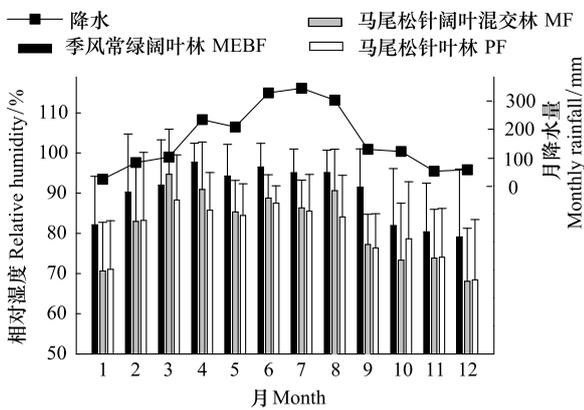


图1 3种林型林内相对湿度的比较

Fig.1 Comparison of monthly air relative humidity of the three forests

MF: mixed *Pinus massoniana*/broad-leaved forest; PF: *Pinus massoniana* coniferous forest, MEBF: Monsoon evergreen broad-leaved forest;

3.1.3 林内土壤温度

图2显示了3种林型地表5cm深处土壤温度的季节变化情况。随初期PF到顶级群落MEBF的正向演替,与林内气温的变化格局一致,表层土壤温度逐步降低。林型间,年均土壤温度表现为MEBF(19.1℃) < MF(20.3℃) < PF(22.5℃);在干季,MEBF(15.6℃) < MF(16.6℃) < PF(18.9℃),湿季MEBF(22.7℃) < MF(23.9℃) < PF(26.2℃)。可见,随演替土壤温度降低幅度湿季略高于干季。此外,各林型林内湿季土壤温度均显著高于干季,差值在7.1—7.3℃。随土层深度的增加,同一区域不同林分土壤温度愈加趋近多有报道,在此不再赘述。

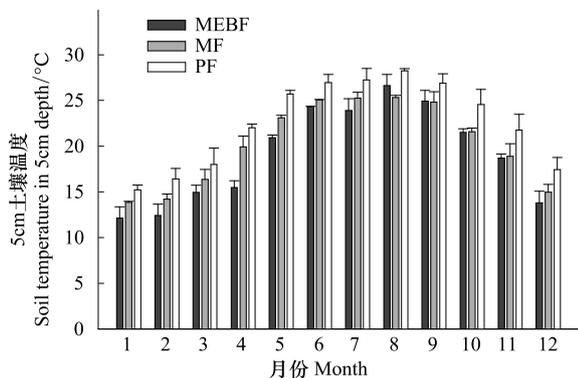


图2 3种林型土壤5cm深处土层温度的比较

Fig.2 Comparison of soil temperatures in 5cm depth among the three forests

3.1.4 林内下垫面水分状况

随系统正向演替的进行,土壤有机质逐渐积累

的同时土壤层含水量逐步增加等有关生态系统土壤界面碳、水耦合的研究已不少见。以0—15cm土壤层为例,由PF→MF→MEBF其下垫面土壤层含水量显著升高,年平均土壤含水量林型间表现为:MEBF(36.6 mm) > MF(31.3 mm) > PF(31.0 mm),同时土壤含水量年内变异系数则表现为MEBF(9.5%) < MF(11.9%) < PF(14.0%),顶级群落MEBF在稳定土壤层及生态系统水分方面更加成熟。凋落物直接接触于土壤表层,其自然状态下含水量同时受控于降水和林内小气候特征。3林型凋落物含水率亦表现为MEBF(42.1%) > MF(35.4%) > PF(32.7%)。凋落物含水率的年内变异大小排序与土壤层含水量的一致,但其变异系数在各林型高于土壤层含水量的相应值,具体为MEBF(21.4%) < MF(26.2%) < PF(30.4%)。

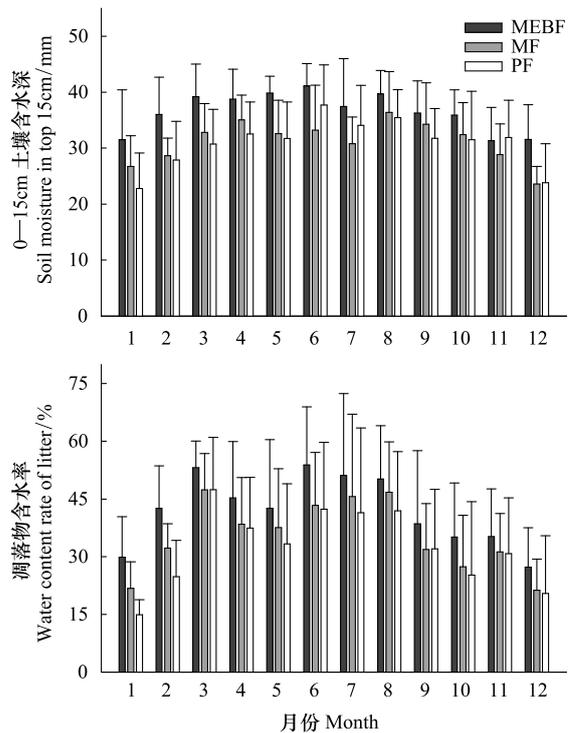


图3 3种林型0—15cm土壤层含水深度及地表凋落物含水率
Fig.3 Comparison of soil temperatures in top 15cm and litter water content among the three forests

3.2 时间序列上森林内部水热环境的变化趋势

3.2.1 林内温度

有关鼎湖山区域自1950年以来林外气温在年及干、湿季尺度上的已有研究表明均在显著升高,分别为(1.0±0.1)℃、(1.3±0.6)℃和(0.6±0.2)℃^[17]。然而,鼎湖山自然区内不同林分类型的林内小气候

的连续监测仅开展于 1993—2001 年底。由图 4 可以看出,3 种林型林内温度在研究期的时间序列上无论全年还是干、湿季尺度上均无显著趋势性变化($P > 0.05$)。此外,林内土壤温度与林内气温具有很好的相关性,且在缓解和稳定林内气温变化上发挥重

要作用。研究期间,土壤温度在全年及干、湿季亦均无显著变化,图略。这一方面可能与监测周期短等有关,另一方面也为当前有关森林生态系统对气候变化的响应及调节作用等的研究提出了新的方向、要求和挑战。

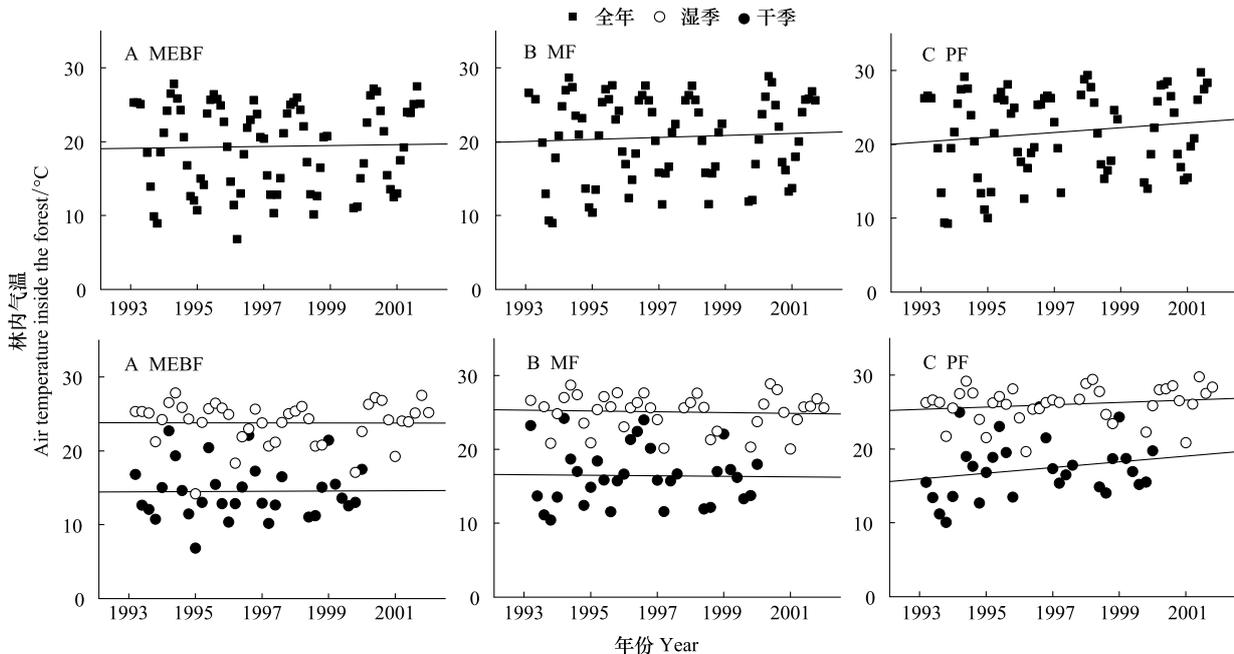


图 4 时间序列上 3 种林型林内气温的动态

Fig. 4 Dynamic of monthly air temperatures of the three forests in time series from 1993 to 2001

3.2.2 林内湿度

研究期间,3 种林型林内气温时间序列上尽管没有显著变化,然而 MEBF 林内相对湿度却在显著降低($P = 0.021$),且湿季($P = 0.001$)较干季($P > 0.05$)更为明显(图 5)。鼎湖山自然保护区历来受到严格保护,很好的排除了人类活动的干扰。此背景下系统内部相对湿度在时间序列上的变化主要受外界区域水热格局改变及系统自身结构的自然变化影响。这也很好的解释了演替初、中期阶段的 PF、MF 为何不同于 MEBF 林内相对湿度的显著趋势性变化。在演替后期较为成熟的 MEBF 其林内小气候则更显著的受以湿季暴雨形式降水的增加等为表征的区域降水格局的改变影响。暴雨形式降水的增加,无疑不利于系统水分的固持。

3.2.3 土壤含水量(0—50cm)

鼎湖山 3 种不同演替阶段林型 MEBF、MF 和 PF 土壤水分的连续监测始于 20 世纪 80 年代前后。如图 6,1984—2009 年,演替序列上林型间 0—50cm 土壤含水量尽管在全年及干、湿季尺度上其平均含水

量亦都表现为 MEBF>MF>PF,然而在时间序列上均呈显著降低的趋势($P < 0.001$),且下降速率在全年及湿季表现为 MF>MEBF>PF,干季为 MEBF>MF>PF。同时,3 种林型土壤含水量下降速率均表现为:湿季>干季。不同演替阶段森林其对区域气温升高和降水格局的变化响应有差,从生态系统下垫面的土壤层含水量来看,演替后期(林龄>400 a)的季风常绿阔叶林以及过渡阶段的针阔叶混交林较初期阶段马尾松林敏感。

3.2.4 凋落物含水量

自 1999 年鼎湖山森林生态系统定位研究站成为首批国家重点野外科学观测试验站(试点站)以来,开展了包括凋落物输入量、凋落物现存量、凋落物组成以及凋落物自然状态含水量等凋落物及其它相关生态学过程的系统、全面监测。1999—2011 年,MEBF 凋落物含水量在全年($P = 0.003$)和湿季($P = 0.012$)尺度上显著降低,而在干季下降趋势并不显著($P = 0.090$),这与其林内相对湿度的时间序列上相关格局一致。此外,演替初期 PF 和过渡阶段 MF

在研究期间无论全年还是干、湿季尺度上的变化均未达到显著 ($P>0.05$)。

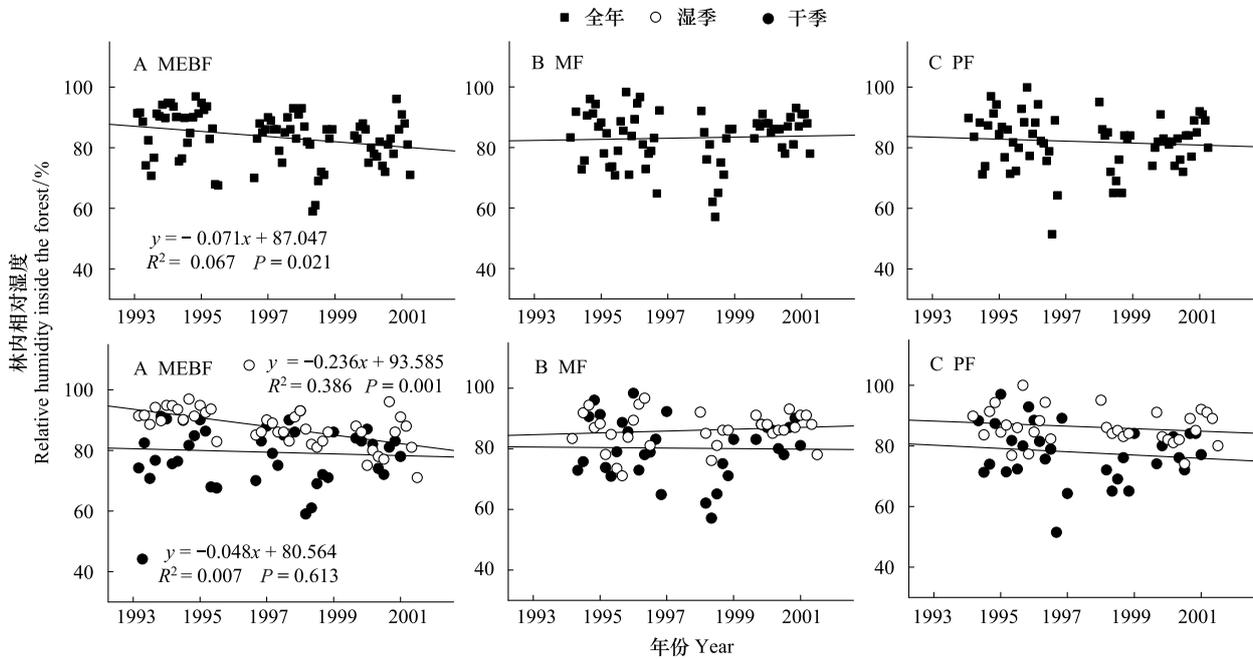


图 5 时间序列上 3 种林型林内相对湿度的动态
Fig.5 Dynamic of relative humidity of the three forests in time series

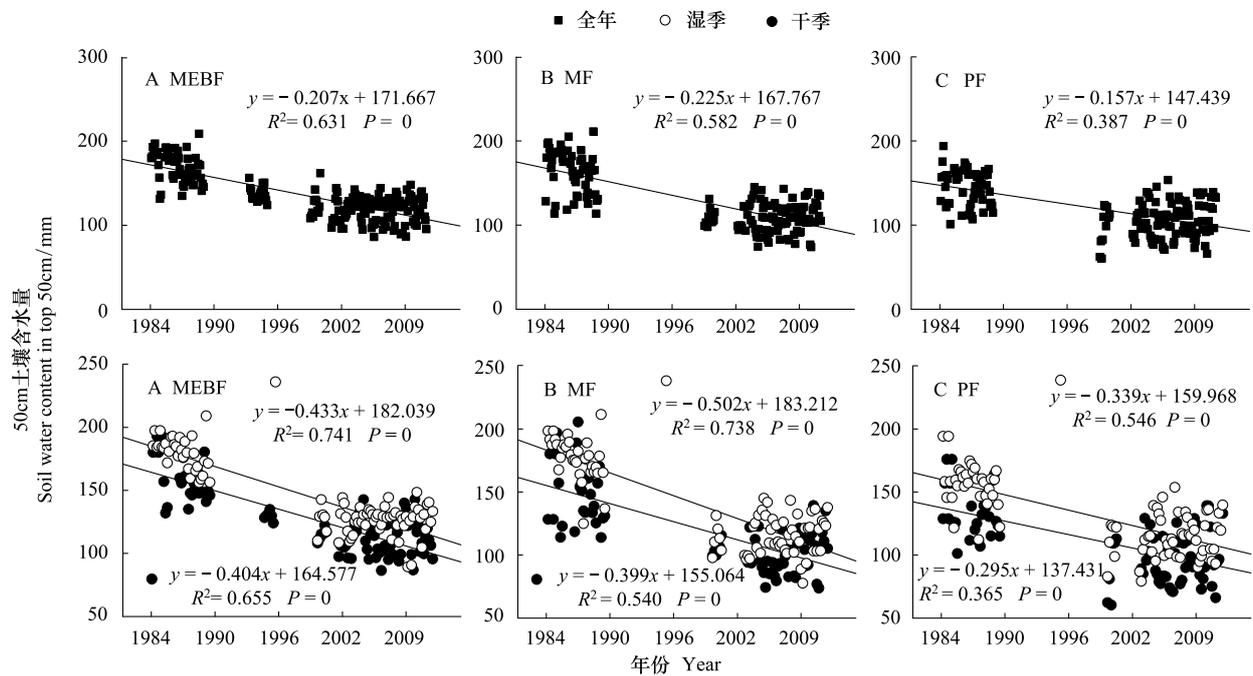


图 6 时间序列上 3 种林型 0—50cm 土壤含水量动态
Fig.6 Dynamic of soil water content in top 50 cm of the three forests in time series

4 讨论与结论

森林的存在和林冠的遮幕及其随演替的变化在很大程度上创造和改变着森林生态系统的内环境,

形成并继续完善独特的林内小气候。同时, 鼎湖山流域气候变暖和区域降水格局趋于“极端化”及其影响下流域下垫面生态水文过程与格局的显著变化也在深刻影响着该区域森林内部水热环境^[17-18], 继而

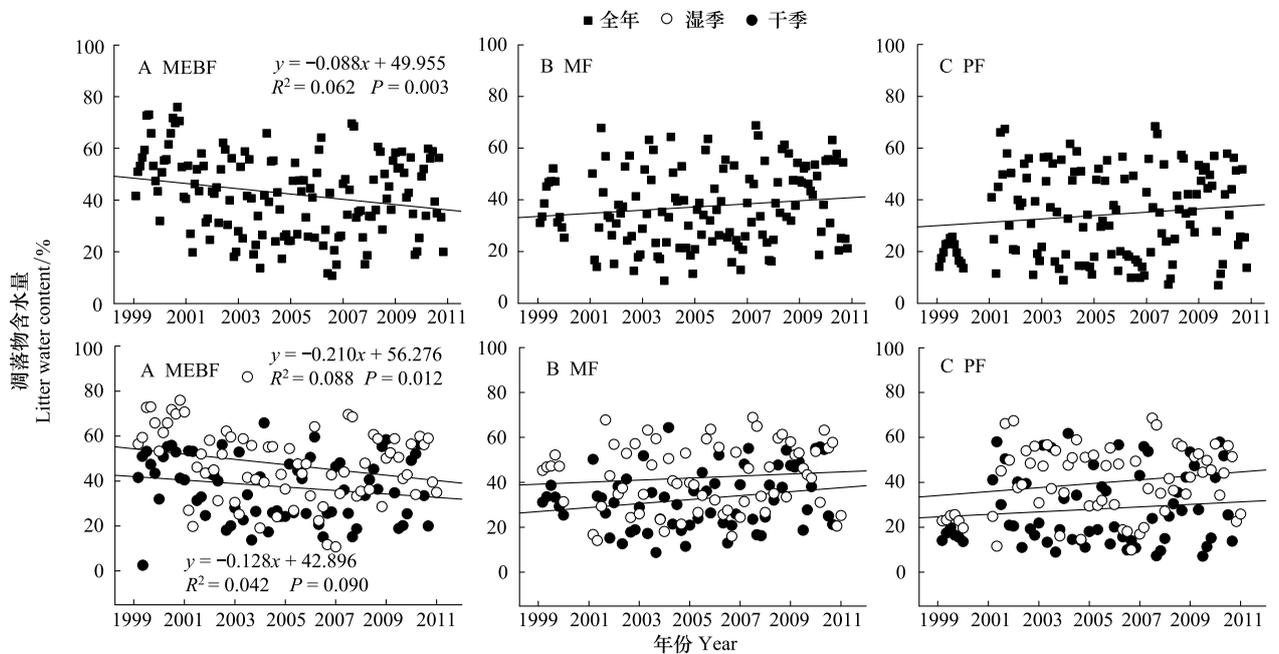


图7 时间序列上3种林型凋落物含水量动态

Fig.7 Dynamic of litter water content of the three forests in time series

影响森林生态系统的一系列过程、并综合体现于生态系统结构与功能的不可逆转性改变^[19]。此背景下本文基于鼎湖山区域严格保护下系统发育程度不同的马尾松人工林 (*Pinus massoniana* forest, PF)、马尾松针阔叶混交林 (mixed *Pinus massoniana*/broad-leaved forest, MF) 以及地带性顶级群落季风常绿阔叶林 (monsoon evergreen broad-leaved forest, MEBF) 3种代表性林型试图从演替驱动和气候变化驱动两个维度来阐释森林生态系统内部水热环境的改变机理有其天然优势。

研究区3种林型距离、海拔等较接近,同时由于鼎湖山小流域地处我国湿润的亚热带地区,降水量大且山体不高,纬度较低,太阳高度角较大;加之,3种林型均有一定的覆盖面积,森林生物量大,因此坡向等因素对降水量和温度的影响很小。演替驱动下,随着PF→MF→MEBF的正向发展,温度条件如林内气温、土壤温度逐渐降低,湿度条件如林内相对湿度、土壤层及凋落物含水量逐步升高。从3种林型林内平均气温与临近空地气象站监测气温比较来看,顶级群落MEBF干、湿季“降温效应”可达15.7%和10.5%,MF干、湿季“降温效应”分别为11.6%和6.4%,PF则分别为7.9%和3.6%。总体上,随演替“降温增湿”效应越来越显著,且表现为干季更为明显以及对林内高温、土壤温度的调节作用更为突出。

就低温而言,MEBF相对于演替初、中期的MF和PF同时又存在一定的“保温效应”。此外,下垫面土壤及凋落物层自然状况含水量随演替的进行亦逐步升高,且其年内变异逐渐减小。总的来讲,植被演替过程中,不断地改变立地的局部气候特征,对水热因子进行调节和重新分配,并为生态系统中生物的生存和发育创造愈加有利的环境条件。地带性顶级群落MEBF完善的系统结构下水热调蓄功能较优越,林内较低的气温,较高的大气相对湿度,加之林冠的郁闭作用,水汽不易散失,整体系统的保水性较强,尤其缓和了系统在干季时的水热供需矛盾^[20]。

鼎湖山区域自1950年以来林外气温在年及干、湿季尺度上分别上升了(1.0±0.1)℃、(1.3±0.6)℃和(0.6±0.2)℃。同时,年降水量虽然无显著变化,但暴雨形式降水量所占比例显著增加^[17]。撤除林内小气候以往监测资料的相对不足,研究期间3种林型林内气温、土壤温度在时间序列上均无显著变化,而MEBF林内相对湿度、土壤含水量以及地表凋落物层含水量均在显著下降,且整体上呈现湿季“干化”较干季强烈。如前所述,暴雨形式化的强烈降水不利用系统的水分固持,鼎湖山小流域尺度下游地下水位的上升也印证了此观点^[18]。除MEBF外,MF和PF林内土壤含水量自20世纪80年代以来也在显著下降,而林内相对湿度、凋落物含水量等指标在

研究期间并没有显著变化。这一方面可能与 MF 与 PF 乔、灌、草层的自然更新驱动下郁闭度的提高有关,另一方面自 20 世纪 80 年代以来 MEBF 凋落物的输入量和现存量均显著下降,而 PF 凋落物输入量和现存量均显著增加,而 MF 二者均无明显变化^[21]。基于上述考虑,相比其它两种林型,地带性顶级群落 MEBF 其传统意义上的成熟林稳定中生化系统可能在当前气候变化及水热环境“极端化”背景下有着天然的敏感性和脆弱性。这也在 Zhou 等运用样地长期监测资料及树干液流方法有关季风常绿阔叶林 (MEBF) 群落结构和组成的趋势性变化的报道中得到印证^[19]。作为森林生态系统“水、土、气、生”之常规监测的凋落物含水量在指示系统水热环境变化等方面有其特殊意义。

过去国内基于不同地形、植被或者林型下有关森林小气候或林业气象的比较研究多有报道。当前气候变化和区域水热格局改变的形势下,森林生态系统作为陆地生态系统的主体,其基于不同林型、不同林龄等的生态系统直接温湿响应、反调节作用及未来服务功能的评估等问题被赋予了更多内涵。此外,近年来国内外基于林外气温等外界水热条件改变的未来气候情景来模拟气候变化(增温或者改变降水)对生态系统过程的可能影响颇有商榷余地^[22-23]。本研究认为生态系统过程主要发生在生态系统内部,气候变化是通过影响森林内部环境而间接作用于生态系统过程,森林内部水热变化与外界环境存在差异,需要考虑森林所处的演替阶段。同时,由于森林植被与水热因子间的作用过程是相互的,在时间和空间上是动态的,从而形成了动态的影响和反馈过程。因此,森林与水热因子的长期监测及有关生态系统过程响应等的模拟研究有待进一步开展和完善。

References:

- [1] Zhou G Y. Principles and Applications of Water and Heat in Ecosystem. Beijing: China Meteorological Press, 1997.
- [2] Zhou G Y. The importance of hydro-thermal effects on degraded ecosystem in the area of water-thermal unevenly distributed. Development of Research Network for Natural Resources Environment and Ecology, 1996, 7(1): 26-30.
- [3] Bonan G B. Forest and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. Science, 2008, 320, 1444-1449.
- [4] Lin Y B, Shen W J, Peng S L, Ren H, Li M H. Comparison of microclimatological effects of three plantations in Heshan of the lower subtropical, China. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(8): 1657-1666.
- [5] He Q S. Advances in forest meteorology. In: Chinese Society of Forest Meteorology, ed. Collection of Forest Meteorological Papers of China. Beijing: China Meteorological Press, 1989.
- [6] Zen Y T, Yu Z Y, Zhang W Q. Temperature and moisture characteristics of man-made mixed tropical forest in Xiao Liang, Guang Dong Province. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(Supp. A): 204-210.
- [7] Peng S L, Shen W J, Dai Z M, Lin Y B, Ren H. Temporal and spatial dynamics of temperature and moisture in *Acacia mangium* plantation. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2001, 9(4): 277-283.
- [8] Chang J, Pan X D, Ge Y, Chen Z H, Liu K, Chen Q C. Microclimatologic characteristics of sub-tropical evergreen broad-leaf forest. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(1): 68-75.
- [9] Boddy L. Microclimate and moisture dynamics of wood decomposing in terrestrial ecosystems. Soil Biology and Biochemistry, 1983, 15(2), 149-157.
- [10] Anderson J M. The effects of climate change on decomposition processes in grassland and coniferous forests. Ecological Applications, 1991, 1(3): 326-347.
- [11] Liu G H, Fu B J. Effects of global climate change on forest ecosystems. Journal of Natural Resources, 2001, 16(1): 71-78.
- [12] Yan J H, Zhou G Y, Wei Q. Environmental of microclimate of moon evergreen broad-leaves forest in Dinghushan. Journal of Wuhan Botanical Research, 2000, 18(5): 397-404.
- [13] Peng S L, Wang B S. Forest succession at Dinghushan, Guangdong, China. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2, 34-42.
- [14] Zhang D Q, Ye W H, Yu Q F, Kong G H, Zhang Y C. The litter-fall of representative forests of successional series in Dinghushan. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(6): 938-944.
- [15] Fang Y T, Mo J M, Zhou G Y, Xue J H. Response of Diameter at Breast Height Increment to N Additions in Forests of Dinghushan Biosphere Reserve. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2005, 13(3): 198-204.
- [16] Central Meteorological Bureau of China. ed. Standard Methods for Surface Meteorological Monitoring. Beijing: Chinese Meteorological Press, 1979.
- [17] Zhou G Y, Wei X H, Wu Y P, Liu S G, Huang Y H, Yan J H, Zhang D Q, Zhang Q M, Liu J X, Meng Z, Wang C L, Chu G W, Liu S Z, Tang X L, Liu X D. Quantifying the hydrological responses to climate change in an intact forested small watershed in Southern China. Global Change Biology, 2011, 17: 3736-3746.
- [18] Liu X D, Zhou G Y, Zhang D Q, Meng Z, Zhang Q M. Dynamic features and mechanisms of shallow groundwater in the downstream

- of Dinghushan Biosphere Reserve. *Ecological Science*, 2013, 32 (2): 137-143.
- [19] Zhou G Y, Chang H P, Li Y L, Liu S Z, Zhang Q M, Tang X L, Liu J X, Yan J H, Zhang D Q, Chu G W. A climate change-induced threat to the ecological resilience of a subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest in Southern China. *Global Change Biology*, 2013, 19(4): 1197-1210.
- [20] Yan J H, Zhou G Y, Huang Z L. Evapotranspiration of the monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(1): 37-45.
- [21] Huang Y H, Li Y L, Xiao Y, Wenigmann K O, Zhou G Y, Zhang D Q, Wenigmann M, Tang X L, Liu J X. Controls of litter quality on the carbon sink in soils through partitioning the products of decomposing litter in a forest succession series in South China. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261(7): 1170-1177.
- [22] Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L, IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2007.
- [23] Aronson L E, McNulty S G. Appropriate experimental ecosystem warming methods by ecosystem, objective, and practicality. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149: 1791-1799.
- 参考文献:**
- [1] 周国逸. 生态系统水热原理及其应用. 北京: 气象出版社, 1997.
- [2] 周国逸. 水热分配不均地区退化生态系统水热联合作用研究的意义. *资源生态环境网络研究动态*, 1996, 7(1): 26-30.
- [4] 林永标, 申卫军, 彭少麟, 任海, 李明辉. 南亚热带鹤山三种人工林小气候效应对比. *生态学报*, 2003, 23(8): 1657-1666.
- [5] 贺庆棠. 林业气象学的研究与进展. 中国林学会林业气象专业委员会, 中国气象学会农业气象专业委员会编. *中国林业气象文集*. 北京: 气象出版社, 1989.
- [6] 曾友特, 余作岳, 张文其. 小良热带人工混交林早期的温湿效应. *生态学报*, 1995, 15(增刊): 204-210.
- [7] 彭少麟, 申卫军, 戴智明, 林永标, 任海. 马占相思人工林温湿效应的时空动态. *热带亚热带植物学报*, 2001, 9(4): 277-283.
- [8] 常杰, 潘晓东, 葛滢, 陈增鸿, 刘珂, 陈启常. 青冈常绿阔叶林内的小气候特征. *生态学报*, 1999, 19(1): 68-75.
- [11] 刘国华, 傅伯杰. 全球气候变化对森林生态系统的影响. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 71-78.
- [12] 闫俊华, 周国逸, 韦琴. 鼎湖山季风常绿阔叶林小气候特征分析. *武汉植物学研究*, 2000, 18(5): 397-404.
- [13] 彭少麟, 王伯荪. 鼎湖山森林群落演替之研究. *热带亚热带植物学报*, 1993, 2: 34-42.
- [14] 张德强, 叶万辉, 余清发, 孔国辉, 张佑倡. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究. *生态学报*, 2000, 20(6): 938-944.
- [15] 方运霆, 莫江明, 周国逸, 薛璟花. 鼎湖山主要森林类型植物胸径生长对氮沉降增加的初期响应. *热带亚热带植物学报*, 2005, 13(3): 198-204.
- [16] 中央气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 1979.
- [18] 刘效东, 周国逸, 张德强, 孟泽, 张倩媚. 鼎湖山流域下游浅层地下水动态变化及其机理研究. *生态科学*, 2013, 32(2): 137-143.
- [20] 闫俊华, 周国逸, 黄忠良. 鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林蒸散研究. *林业科学*, 2001, 37(1): 37-45.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.10 May, 2014 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Landscape sustainability and landscape sustainability science ZHAO Wenwu, FANG Xuening (2453)
- A diagnostic framework of payments for ecosystem services and associated case studies
..... ZHU Wenbo, WANG Yang, LI Shuangcheng (2460)
- Progress in research of iron plaque on root surface of wetland plants
..... LIU Chunying, CHEN Chunli, GONG Xiaofeng, et al (2470)
- Ecological effects of predator chemical cues in aquatic ecosystem QIN Guangqiu, LU Haoliang, TANG Zhenzhu, et al (2481)
- Secondary substances and their ecological effects on seed dispersal in vertebrate-dispersed fleshy fruit plants
..... PAN Yang, LUO Fang, LU Changhu (2490)

Autecology & Fundamentals

- Responses of CH₄ uptake rates to simulated N deposition in a nature forest in mid-subtropical China
..... CHEN Chaoqi, YANG Zhijie, LIU Xiaofei, et al (2498)
- Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to water-salt indicators in dry habitats of the southern
marginal zones of the Tarim Basin, China GONG Lu, ZHU Meiling, TASHPOLAT · Tiyp, et al (2509)
- Threshold effect of soil moisture on photosynthetic and physiological parameters in *Rosa xanthina* L. and its photosynthetic
productivity classification ZHANG Shuyong, XIANG Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (2519)
- Contrasting responses of soil respiration to litter manipulation in subtropical *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata*
plantations YU Zaipeng, WAN Xiaohua, HU Zhenhong, et al (2529)
- Potassium application for increased jasmonic acid content and defense enzyme activities of wheat leaves infested by aphids
..... WANG Yi, ZHANG Yueling, SU Janwei, et al (2539)
- Combined effects of elevated O₃ concentration and reduced solar irradiance on photosynthetic activity and energy dissipation
of winter wheat SUN Jian, ZHENG Youfei, et al (2548)
- Colonization dynamics of *Bacillus cereus* B3-7 on wheat roots and control efficiency against sharp eyespot of wheat
..... HUANG Qiubin, ZHANG Ying, LIU Fengying, et al (2559)
- Quantitative study of water consumption characteristics of winter wheat under deficit irrigation
..... ZHANG Xingjuan, XUE Xuzhang, GUO Wenzhong, et al (2567)
- Assessment on the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice LI Wei, GUO Jianfu, YUAN Hongxu, et al (2581)
- A proteomic analysis of *Arachis hypogaea* leaf in responses to enhanced ultraviolet-B radiation
..... DU Zhaokui, LI Junmin, ZHONG Zhangcheng, et al (2589)
- Composition of fatty acids from suspended particulate matter in southern South China Sea
..... LIU Huaxue, KE Changliang, LI Chunhou, et al (2599)
- The influence of age, flock size, habitat, and weather on the time budget and the daily rhythm of wintering Siberian Cranes
in Poyang Lake YUAN Fangkai, LI Yankuo, LI Fengshan, et al (2608)
- The energy budget and water metabolism heat regulation of tree sparrows *Passer montanus* of toba compensatory regeneration
..... YANG Zhihong, WU Qingming, YANG Miao, et al (2617)
- The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms LI Rui, LI Na, LIU Jia, et al (2629)
- Response of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) to overwintering protection and
its controlling effect on alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae: Alternanthera)
..... LIU Yufang, WANG Xiuxiu, LI Fei, et al (2638)

Population, Community and Ecosystem

- The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake LI Yankuo, QIAN Fawen, SHAN Jihong, et al (2645)
- Characteristics of soil phosphorus fractions in wetlands with various restoration age in caizi lake, Anhui Province LIU Wenjing, ZHANG Pingjiu, DONG Guozheng, et al (2654)
- Multivariate analysis of the relations between phytoplankton assemblages and environmental factors in Chagan Lake Wetland LI Ranran, ZHANG Guangxin, ZHANG Lei (2663)
- Diversity of methanogen communities in tidal freshwater and brackish marsh soil in the Min River estuary ZENG Zhihua, YANG Minhe, SHE Chenxing, et al (2674)
- The influence of environment and phylogenetic background on variation in leaf and fine root traits in the Yanhe River catchment, Shaanxi, China ZHENG Ying, WEN Zhongming, SONG Guang, et al (2682)
- Changes of soil properties in re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in hengyang of Hunan Province, South-central China YANG Ning, ZOU Dongsheng, YANG Manyuan, et al (2693)
- Vulnerability assessment on the mangrove ecosystems in qinzhou bay under sea level rise LI Shasha, MENG Xianwei, GE Zhenming, et al (2702)
- Dynamics of biomass and productivity of three major plantation types in southern China DU Hu, ZENG Fuping, WANG Kelin, et al (2712)
- Fungal diversity in *Cunninghamia lanceolata* plantation soil HE Yuanhao, ZHOU Guoying, WANG Shenjie, et al (2725)
- Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land ZHANG Lamei, LIU Xiping, ZHAO Xueyong, et al (2737)
- Characteristics of carbon storage and sequestration of *Robinia pseudoacacia* forest land converted by farmland in the Hilly Loess Plateau Region SHEN Jiapeng, ZHANG Wenhui (2746)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Forest microclimate change along with the succession and response to climate change in south subtropical region LIU Xiaodong, ZHOU Guoyi, CHEN Xiuzhi, et al (2755)
- Drought variations of winter wheat in different growth stages and effects of climate trend in Huang-Huai-Hai Plain, China XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (2765)

Resource and Industrial Ecology

- A method of environment assessment of mineral resources planning for shanxi provinces base on GIS LIU Wei, DU Peijun, LI Yongfeng (2775)
- A new approach to assess the water footprint of hydropower: a case study of the Miyun reservoir in China ZHAO Dandan, LIU Junguo, ZHAO Xu (2787)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 祖元刚 编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 34 卷 第 10 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 10 (May, 2014)

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元