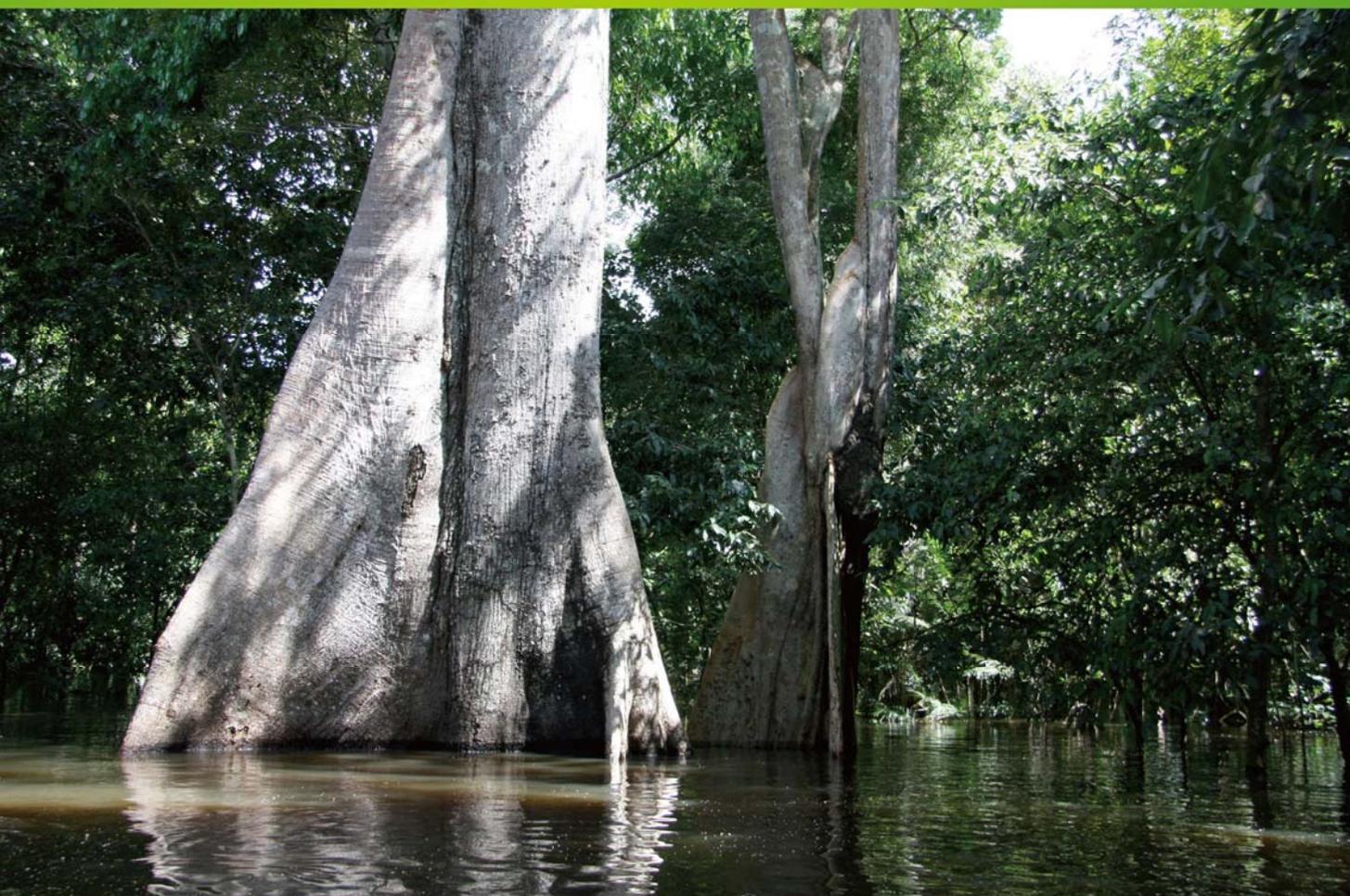


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

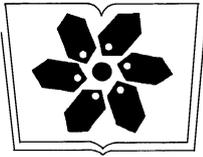
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第8期 Vol.31 No.8 **2011**

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 31 卷 第 8 期 2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系.....	安红燕,徐海量,叶 茂,等 (2053)
冲积平原区高程因子对土壤剖面质地构型的影响——以封丘县为例.....	檀满枝,密术晓,李开丽,等 (2060)
臭氧胁迫对大豆叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响.....	王俊力,王 岩,赵天宏,等 (2068)
重要理化因子对小球藻生长和油脂产量的影响.....	张桂艳,温小斌,梁 芳,等 (2076)
北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应.....	程瑞梅,封晓辉,肖文发,等 (2086)
亚热带沟叶结缕草草坪土壤呼吸.....	李熙波,杨玉盛,曾宏达,等 (2096)
UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解和养分释放的影响.....	宋新章,张慧玲,江 洪,等 (2106)
干旱胁迫下内生真菌感染对羽茅的生理生态影响.....	韩 荣,李 夏,任安芝,等 (2115)
蜜环菌对锌的耐性和富集特性.....	朱 林,程显好,李维焕,等 (2124)
干旱荒漠区狭叶锦鸡儿灌丛扩展对策.....	张建华,马成仓,刘志宏,等 (2132)
黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响.....	王春阳,周建斌,夏志敏,等 (2139)
内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略.....	孙 建,刘 苗,李胜功,等 (2148)
荒漠沙柳根围 AM 真菌的空间分布.....	贺学礼,杨 静,赵丽莉 (2159)
开放式昼夜不同增温对单季稻影响的试验研究.....	董文军,邓艾兴,张 彬,等 (2169)
醉马草免培养内生细菌的多样性.....	张雪兵,史应武,曾 军,等 (2178)
河南生态足迹驱动因素的 Hi-PLS 分析及其发展对策.....	贾俊松 (2188)
禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析.....	杨奇勇,杨劲松,余世鹏 (2196)
旋覆花提取物对朱砂叶螨的生物活性及酶活性的影响.....	段丹丹,王有年,成 军,等 (2203)
白洋淀湖滨湿地岸边带氨氧化古菌与氨氧化细菌的分布特性.....	叶 磊,祝贵兵,王 雨,等 (2209)
干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化.....	王 丁,姚 健,杨 雪,等 (2216)
梭树人工林物种多样性变化特征.....	刘 平,秦 晶,刘建昌,等 (2227)
海河流域湿地生态系统服务功能价值评价.....	江 波,欧阳志云,苗 鸿,等 (2236)
芦苇在微咸水河口湿地甲烷排放中的作用.....	马安娜,陆健健 (2245)
云南不同土壤铅背景值下大叶茶种群对铅的吸收积累特征及其遗传分化.....	刘声传,段昌群,李振华,等 (2253)
长江口和杭州湾凤鲚胃含物与海洋浮游动物的种类组成比较.....	刘守海,徐兆礼 (2263)
江西大岗山地区 7—9 月降水量的重建与分析.....	乔 磊,王 兵,郭 浩,等 (2272)
山核桃免耕经营的经济效益和生态效益.....	王正加,黄兴召,唐小华,等 (2281)
基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析.....	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (2290)
专论与综述	
土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性.....	杨庆朋,徐 明,刘洪升,等 (2301)
植物代谢速率与个体生物量关系研究进展.....	程栋梁,钟全林,林茂兹,等 (2312)
耕地生态补偿实践与研究进展.....	马爱慧,蔡银莺,张安录 (2321)
问题讨论	
元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性.....	刘 洁,李贤伟,纪中华,等 (2331)
研究简报	
中微量元素和有益元素对水稻生长和吸收镉的影响.....	胡 坤,喻 华,冯文强,等 (2341)



封面图说: 巴西热带雨林——美丽的巴西北部玛瑙斯热带雨林景观。位于南美洲的亚马逊河是世界上流域最广、流量最大的河流,孕育了世界面积最大的热带雨林,雨林中蕴藏着极丰富的生物资源。

彩图提供: 中国科学院生态环境研究中心徐卫华博士 E-mail: xuweihua@rcees.ac.cn

北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应

程瑞梅¹, 封晓辉¹, 肖文发^{1,*}, 王瑞丽¹, 王晓荣^{1,2}, 杜化堂³

(1. 国家林业局森林生态环境重点实验室, 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;
2. 湖北省林业科学研究院, 武汉 430079; 3. 河南省鸡公山自然保护区管理局, 信阳 454000)

摘要: 掌握马尾松生产力与气候变化的关系, 特别是在马尾松自然分布的北界研究生产力对气候变化的响应具有重要意义, 以马尾松自然分布北界的河南鸡公山国家级自然保护区内的老龄马尾松林作为研究对象, 根据河南信阳的马尾松生物量与树高胸径的关系, 利用样地调查和年轮宽度推算出过去的 30a 中的生物量和生产力动态, 并用当地的温度、湿度、降水、光照以及帕尔默干旱指数 5 项气候因子与生产力做相关分析, 在此基础上用多元逐步回归得到了气候因子与生产力的回归方程。结果显示: 鸡公山马尾松林生物量从 1980 年的 59.00 t/hm² 逐步增加到 2009 年的 254.75 t/hm², 30a 中平均年净生产力为 6.64 t/hm²; 气候分析表明年净生产力与气候因子关系较为密切: 上年 8 月降水、当年 2 月温度、3 月湿度以及 10 月的光照和温度与生产力正相关, 当年 5 月光照、10 月的降水和湿度与生产力负相关, 当年 2 月到 9 月的 PDSI 都与生产力正相关, 并且在 6 月的相关系数最高。研究表明, 北亚热带的马尾松生产力的年际变化主要是气候因素引起的, 受当年生长季的长短和生长季的土壤水分可用性限制, 在未来该地区升温增湿的条件下马尾松林的生产力可能会升高。

关键词: 马尾松; 年轮; 生物量; 生产力; 气候响应

Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in North Subtropical Region

CHENG Ruimei¹, FENG Xiaohui¹, XIAO Wenfa^{1,*}, WANG Ruili¹, WANG Xiaorong^{1,2}, DU Huatang³

1 Key Laboratory on Forest Ecology and Environmental Sciences of State Forestry Administration; Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Hubei Academy of Forestry, Wuhan, 430079, China

3 Jigongshan National Nature Reserve Administration of Henan Province, Xinyang 454000, China

Abstract: Masson pine is one of the main native plantation species in South China due to its fast and easy growing characteristics. Plantation area of the species increased dramatically and its growth was significantly impacted by climate change in past decades. The relationship between net productivity of masson pine plantation and climatic factors, especially for the plantation in its northern natural distribution boundary where masson pine growth is more sensitive to changes of climatic factors, is important to understand the response of its growth to climate change. We set six 20m×20m plots in 30 years old masson pine plantation in Jigongshan National Nature Reserve of Henan Province for doing this study. Both height and diameter at breast height (DBH) of all trees were measured and six cross increment cores at breast height of three sample trees were got in each plot. Tree ring widths of the dried and burnished cores were measured with Lintab tree ring analysis system. Annul diameters and heights of the sample trees were calculated using the annul tree ring widths. Biomass and net productivity of the old masson pine stands in the past 30 years were calculated based on the regressive equations between biomass and height and DBH in this area. After that, correlations between productivity and climate factors, including monthly and seasonal temperature, humidity, precipitation, sunshine and the Palmer Drought Severity Index (PDSI), were analyzed. The regressive equation between net productivity and climatic factors of the plantation in the area

基金项目: 国家林业局林业公益性科研专项(200804001); 中国林科院森林生态环境与保护研究所专项资金(CAFRIFEEP201006)

收稿日期: 2010-06-24; **修订日期:** 2010-12-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: aowenf@caf.ac.cn

was established finally. The results indicated that biomass of the plantation increased more than three times in the past 30 years, from 59.00 t/hm² in 1980 to 254.75 t/hm² in 2009, and mean net productivity of the stand was 6.64 t·hm⁻²·a⁻¹. Net productivity was closely correlated with climatic factors. The effects of temperature, sunlight, precipitation and humidity on net productivity were different. There were positive correlations between productivity and precipitation in last August, mean temperature in February, precipitation in March, mean humidity in May, and mean temperature and total sunlight in October. There were negative correlations between productivity and total sunlight in May, precipitation and mean humidity in October. Productivity was correlative positively with PDSI from February to September. Seventy one percent of the changes of productivity could be interpreted by climatic factors. Generally, biomass of masson pine plantation in North Subtropical Region could accumulate as high as that in low-latitude region but net productivity in the region was much less than that in low-latitude region. Annual changes of net productivity were mainly caused by climatic factors, especially the length of growing season and soil water availability in growing season. It is implied that both biomass and mean net productivity of the plantations could increase in the future due to possible increase of temperature and precipitation in the North Subtropical Region.

Key Words: masson pine; tree ring; biomass; productivity; climate response

马尾松(*Pinus massoniana*)是我国特有的速生、丰产乡土树种,也是我国东部亚热带湿润地区分布最广、资源最丰富的针叶树种,在我国林业生产中一直占有重要地位^[1]。马尾松分布在淮河以南的广大地区,北起秦岭淮河,南至广西十万大山、雷州半岛,西到四川盆地西缘、贵州乌蒙山,东到海滨,其水平分布的北界基本与北亚热带的北界吻合^[2]。IPCC 研究报告表明在过去的 50a 中全球气温以 0.13℃/10a 的趋势在升高,而北亚热带处于亚热带与温带的交接区域,其北界随着冷暖期的交替而向南北推移,是气候变化的敏感区域^[3],同时,处于水平分布边缘区的树木生长对气候变化最为敏感^[4]。因而北亚热带马尾松的生长最容易受到气候变化的影响。

生物量和生产力是生态系统的重要特性,马尾松林的生物量和生产力因立地条件的不同而表现出空间上的差异^[5],生物量和生产力在时间上也存在差异。已有的研究主要集中于不同地区各种类型马尾松林生物量的静态研究,对同一林分生物量和生产力的长期动态研究尚未见到。同时,树木年轮宽度是树木径向生长的长期记录,可以有效的应用于理解气候变化对不同时空尺度上的森林生长的影响^[6-7]。影响马尾松生长的气候因子表现出空间差异。兰涛在安徽的研究发现降水是马尾松径向生长主要的限制因子^[8-9];侯爱敏在鼎湖山发现马尾松径向生长主要受到夏季的高温限制^[10]。雷静品在三峡库区的研究表明不同海拔高度上的马尾松径向生长对气候的响应有显著差异^[11]。年轮宽度也可以反演种群生物量和生产力的历史动态^[12-13],滕菱利用年轮分析发现气温波动与鼎湖山的马尾松生产力的变化有较大的相关性^[14]。但是在马尾松生长最容易受到气候变化影响的分布北缘,尚未有利用年轮为基础研究马尾松林长期的生物量和生产力动态以及气候变化对生产力影响的报道。

鸡公山国家级自然保护区地处北亚热带,是亚热带和暖温带的过渡区,也是马尾松地理分布的北缘。该保护区建立较早,老龄马尾松林受到的干扰少,由于年龄引起的生长减慢尚未表现出来,生产力的变化主要是由气候条件引起的。因此本研究以鸡公山马尾松老龄人工林为对象,借鉴树木年轮学方法计算马尾松林的生物量和生产力的长期动态,并对马尾松的生产力进行气候分析,探索北亚热带地区马尾松林生物量和生产力的时间格局,分析气候变化对北亚热带地区马尾松生产力的影响,定量研究北亚热带地区自然分布北缘马尾松林生产力对气候的响应,以期为我国林业生产更好地应对气候变化提供重要的参考资料。

1 研究地区概况与研究方法

1.1 研究地区概况

鸡公山国家级自然保护区位于河南信阳,是大别山西端的著名山峰,是我国南北的天然分界线,素有“青

分楚豫”之称。在 20 世纪 80 年代被列为国家级自然保护区,保护范围在 114.01°—114.06°E,31.46°—31.52°N 之间。该地区属于北亚热带季风气候,年均温度 15.2℃,1 月均温 2℃,7 月均温 27.5℃,无霜期 220 d。年均降雨 1118.7mm,大部分集中在 5—9 月。该区植被类型属于亚热带常绿阔叶林,由于人类活动,原始植被保存很少,人工林和次生林占主要地位,有大面积的马尾松人工林。在北亚热带地区,马尾松人工林 15—22a 为速生期,单位面积生产力最高,23—30a 是成熟期单位面积的生产力逐渐下降,30a 以上的为老龄林,单位面积的生产力趋于稳定^[2]。马尾松老龄林主要分布在保护区的下坡,栽植于 20 世纪 60 年代初期。在马尾松林下层有少量檫木 (*Loropetalum chinense*)、油桐 (*Vernicia fordii*)、麻栎 (*Quercus acutissima*)、栓皮栎 (*Q. variabilis*) 等灌木和少量的草本植物,其生物量在整个样地中占有很少的比率,因此在此研究中没有考虑。由于鸡公山保护区是在原鸡公山林场的基础上建立的,营林早期都有一定的间伐抚育措施,直到 80 年代初保护区建立才将用材林改变为生态林,对其进行封育保护,所以本研究从 1980 年开始到 2009 年。

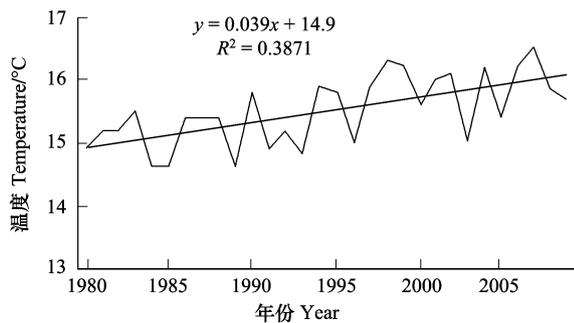


图 1 信阳气象站 1980 到 2009 年的年平均温度变化

Fig. 1 Changes of annual mean temperature from 1980 to 2009

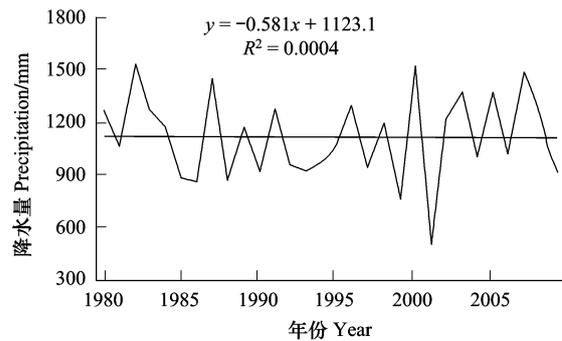


图 2 信阳气象站 1980 到 2009 年的年降雨总量变化

Fig. 2 Changes of annual precipitation from 1980 to 2009

1.2 样地设置与调查

在鸡公山国家级自然保护区的马尾松老龄林中选择 20m×20m 的样地 6 个,每个样地之间相距 300m 以上,样地的基本情况如表 1。对样地内的马尾松每木检尺,测量胸径、树高,计算出平均胸径,每个样地中选择与平均胸径相近的 3 株优势马尾松作为标准木,在胸径处垂直交叉钻取两个树芯。将树芯保存于塑料管中密封,带回实验室,固定在木槽中,立即用 Lintab 年轮分析仪测量湿树芯的长度(精确到 0.01mm),然后常温下干燥 1 周,测量干燥后的树芯长度,计算树芯的干湿长度比 p 。将干燥后的树芯固定、用砂布打磨至表面平整光滑,年轮界限清晰,再用 Lintab 树木年轮分析仪测量年轮宽度(精确到 0.01mm)。

表 1 样地概况

Table 1 Basic information of the plots

样地 Plots	海拔/m Elevation	坡向/(°) Aspect	坡度/(°) Slope	郁闭度 Canopy density	样地中马 尾松数量 Number	平均胸径/cm Mean breast diameter	平均树高/m Mean height	样地胸径断面面积/m ² Basal area
1	203	SW40	21	0.8	30	23.79±5.24	20.09±1.80	5.58
2	221	NW56	15	0.7	27	24.63±6.31	19.28±1.98	5.27
3	212	SW24	27	0.7	28	24.91±9.19	17.33±4.86	6.17
4	253	NW24	22	0.6	32	18.35±7.91	15.33±5.21	4.01
5	258	SW22	26	0.8	31	17.46±9.19	16.38±4.86	5.58
6	229	NE53	36	0.8	42	22.64±4.74	17.48±3.54	5.98

1.3 生产力估计

用对数法 $H = c \ln(D) + d$ 建立树高和胸径的关系,式中 H 为树高, D 为胸径。根据杨涛对河南信阳马尾松的生物量研究的维量方程 $W = a(D^2H)^{b[15]}$ (表 2),计算样地的生物量和标准木的生物量,并且计算标准木在

样地中的生物量比例 Q 。

表 2 河南信阳马尾松各部分生物量与树高胸径的关系

Table 2 The relationships between biomass of different parts and height and DBH of masson pine in Xinyang, Henan Province

	回归系数 a Regression coefficient a	回归系数 b Regression coefficient b	相关系数 Correlation coefficient
干 Stem	0.01554	1.0205	0.82107
枝 Branch	0.02113	0.8497	0.91056
叶 Leaves	0.15341	0.3955	0.86544
根 Root	0.01996	0.8392	0.89137

先用测量的干燥树芯的年轮宽度除以干湿长度比例 p , 得到湿的年轮的宽度, 用胸径减去历年 2 个树芯年轮的宽度之和 w_n 得到历年的胸径 D_n , 并用树高与胸径的关系推算出标准木历年的树高 H_n 。则 n 年的生物量为 $W_n = a(D_n^2 H_n)^b$ 计算标准木历年的生物量和样地的生物量, 样地历年的生物量之差就是样地的净初级生产力 NPP, 进而得到单位面积的生物量和净生产力。

n 年的标准木情况可根据以下公式求得:

$$D_n = D_{2009} - (w_{2009} + w_{2008} + \dots + w_{n+2} + w_{n+1})$$

$$H_n = c \ln(D_n) + d$$

$$W_n = a(D_n^2 H_n)^b$$

$$P_n = W_n - W_{n-1}$$

式中, D_n 是 n 年的胸径, w_n 是 n 年的两个不同树芯年轮宽度的和, H_n 为 n 年的树高, W_n 为 n 年的生物量, P_n 是 n 年的生产力。根据标准木在样地中的生物量比率 Q 求出历年的样地生物量和生产力。

1.4 气候数据

在国家气象局获得信阳 (32.08°N, 114.03°E) 的气候数据, 包括平均温度、降水量、空气湿度、光照时间等月值资料和年值资料。鉴于以往传统的按照每 3 个月为一个季节得出的季节气候与生长关系不明显, 本研究参考马尾松的年生长规律, 将月值资料按照 3、4 月为生长开始季, 5、6、7、8、9 月为生长季, 10、11 月为生长结束季, 12 月以及翌年的 1、2 月为生长前季, 计算每一季的平均温度、平均湿度和降水总量。帕尔默干旱度指数 (Palmer Drought Severity Index, PDSI) 是代表土壤干旱程度的指数, 不仅考虑到某一时段的降水等土壤水分的吸收, 还综合了到空气温度、空气湿度、地表蒸发、径流等因子, 客观全面的反应土壤的水分可用性, 是目前使用最广泛的干旱指标^[16-17]。PDSI 数值为 $[-10, 10]$, 数值越高表明水分供应越充足, 反之越低则表明某一时间越干旱。本研究中 PDSI 是由美国国家气候中心 Dai 提供的 2.5 个经纬度的格点数据^[18], 选择的与鸡公山最近的点 (31.25°N, 113.75°E) 1980 到 2005 年的干 PDSI 进行气候分析。由于树木的生长不仅受到当年生长季节的气候条件限制, 也受到上一年的气候条件的影响, 通常对上一生长季的气候条件也进行分析。因此本研究采用上年 6 月到当年 12 月的气候资料进行分析。

1.5 气候与生产力分析

用 Pierson 相关对生产力与月值、季节的气候资料进行相关性分析, 选择相关性较显著的指标进行生产力的回归, 建立生产力与气候因子的回归方程。分析在 SPSS 16.0 中进行。

2 结果分析

2.1 树高与胸径的关系

6 个样地共计马尾松 209 株, 利用对数函数建立树高与胸径的关系 $H = 8.5076 \ln(D) - 7.8587$, $R^2 = 0.7248$, $n = 209$, 回归方程能很好的解释树高和胸径的关系。干树芯长度 y 与湿树芯 x 的长度关系为 $y = 0.9478x$, $R^2 = 0.9973$, $n = 36$, 即干湿树芯长度比 p 为 0.9478。各个样地年轮的统计特征如表 3。

表 3 各个样地年轮统计特征

Table 3 Statistical features of tree rings in each plot

样地 Plot	起始时间 Start time	年轮宽度 Tree ring width/mm			敏感度 Mean sensitivity	年轮宽度相关系数 Correlation coefficient between sample trees
		平均 Mean	最大 Max	最小 Min		
1	1967	2.31±1.02	5.62	0.59	0.372	0.459
2	1964	2.29±1.28	6.83	0.35	0.441	0.541
3	1961	2.00±1.19	6.29	0.27	0.474	0.336
4	1969	2.66±1.67	7.21	0.56	0.449	0.819
5	1960	1.69±0.88	4.54	0.35	0.348	0.527
6	1962	2.26±1.31	5.59	0.42	0.404	0.468
总体 Total	—	2.15±1.18	7.21	0.27	0.410	0.383

2.2 生物量与生产力格局

马尾松林生物量从 1980 年的 59.00 t/hm² 到 2009 年的生物量为 254.75 t/hm², 在近 30a 的时间中增长超过了 3 倍。30a 平均年净生产力为 6.64 t·hm⁻²·a⁻¹。这与南亚热带地区的生产力相比相差很多。1980 年到 2009 年中样地的生产力呈现出波动上升的趋势, 其中 1998 年的生产力最高。达到 10.59 t/hm², 而在 1980 年、1995 年和 1999 年的生产力出现在了低谷, 1995 年最低, 只有 4.32 t/hm²。总体来看生产力有上升的趋势, 但是在上升中又有波动。马尾松林的生物量和生产力动态如图 3 所示。

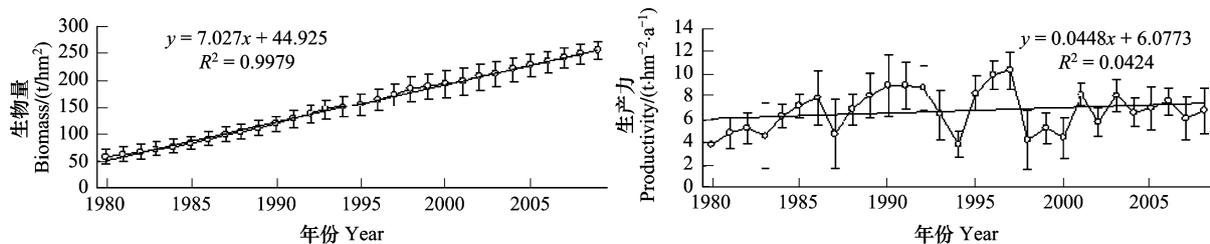


图 3 1980 到 2009 年的生物量和生产力

Fig. 3 Changes of biomass and productivity from 1980 to 2009

2.3 生产力对气候的响应

2.3.1 温度和光照对生产力的影响

如图 4 所示, 温度和光照反映当地的热量条件, 这两个气候因子对马尾松生产力的影响较一致。生长季的 2 月和 10 月温度对生产力有促进作用, 相关系数分别为 0.339 和 0.351 且都达到了显著水平; 同时 4 月份的温度与生产力相关系数也较高为 0.212, 但没有达到显著相关; 上年 11、12 月、当年 5 月的负相关系数较明显, 其中当年 5 月达到显著水平; 其他月份的相关系数都较小。季节平均温度对生产力的影响不大, 相关系数都较小, 没有达到显著水平。在各月的光照中当年的 10 月光照对生长影响最大, 相关系数为 0.621, 达到极显著水平, 说明 10 月光照是影响生长的重要因子; 其次是当年 5 月, 相关系数为 -0.365, 达到显著水平; 同时生长结束季节的相关系数为 0.450, 达到极显著相关, 这与 10 月光照相互印证了在生长结束季节光照对生产力形成的重要影响。光照与温度表现出一致性, 在相关性较高的 5 月和 10 月都一致。但是季节和月的相关性又有差异, 5 月份的相关性较明显, 而在 5 月份所属的当年生长季相关性却不明显。

2.3.2 降水和空气湿度对生产力的影响

降水和空气湿度反映水分状况, 对生产力的影响作用相近。8 月、11 月以及当年的 2 月、8 月降水与生产力正相关, 其中上两年的 8 月、11 月达到了显著水平。上年和当年 10 月的降水对生长都有较高的负相关, 且当年 10 月的降水对生长极为不利, 相关系数达到了 -0.629, $P < 0.01$, 极显著相关, 是各月降水影响最大的。上年 10 月的为 -0.211, 比当年的影响弱。当年 3 月、5 月的湿度与生产力正相关, 而上年 10 月和当年 10 月

的湿都与生长负相关,湿度越大对生长越不利。空气湿度与降水的相关系数相似,在 10 月份都表现出极显著相关。在季节分析中可见空气湿度和降水对生产力的形成影响相似;上一个生长季的水分条件都与生产力负相关;在当年的生长开始季降水和湿度与生产力的相关系数分别为 0.458 和 0.316 达到极显著相关和显著相关;当年生长结束季的降水和湿度都与生产力负相关,分别为-0.457 和-0.418 达到了极显著和显著水平。

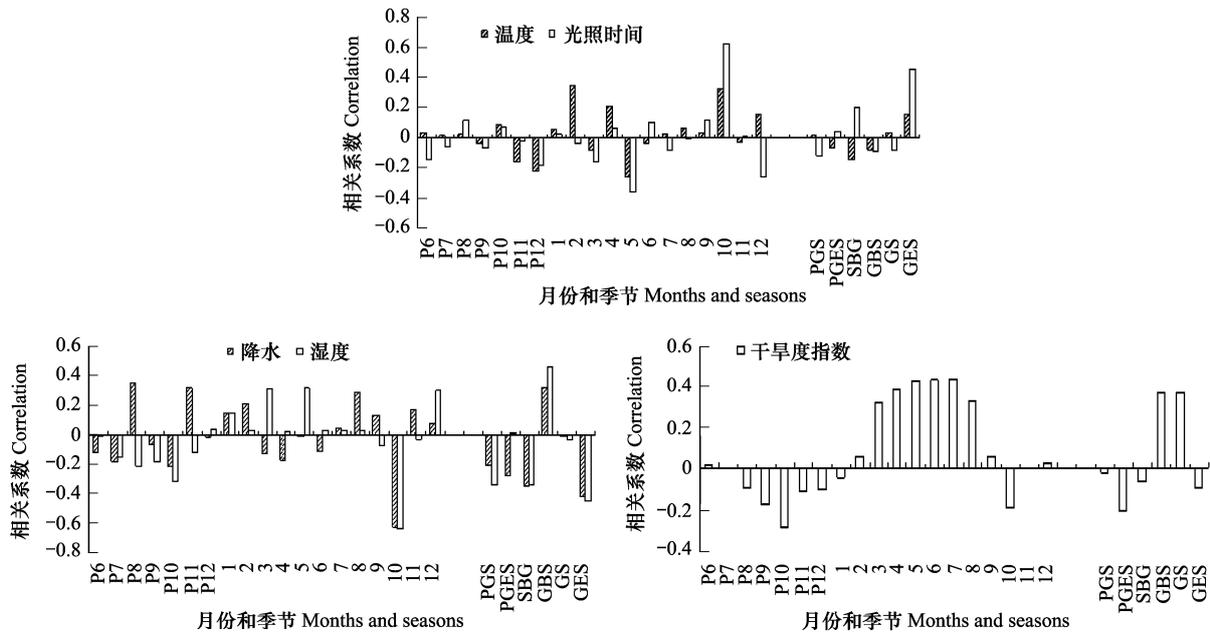


图 4 生产力与各个气候因子的相关性

Fig. 4 Correlations between productivity and climate factors

P: 上一年的各月; PGS 表示上一个生长季, PGES: 上一个生长结束季; SBG: 生长前季; GBS: 生长开始季; GB: 生长季 GES: 生长结束季; * 表示显著水平小于 0.05, ** 表示显著水平小于 0.01

2.3.3 PDSI 对生产力的影响

各月 PDSI 与生产力的相关性具有连续变化的特点。当年 2—9 月的 PDSI 与生长都表现为正相关, 相关系数逐渐升高, 在 6 月达到最高, 7—9 月逐渐下降, 且 4—8 月的相关性达到了显著水平, 说明在整个生长季节水分的有效性是生长的关键, 而上年的 8 月到当年的 1 月都有一定的负相关, 但是相关性不显著, 说明上年的水分供应不是主要的限制因素。由于 PDSI 是一个反应干旱的综合指标, 各月的 PDSI 与生产力的相关系数具有逐渐变化的特性, 与上年各月的呈负相关, 一直到当年的 1 月上年 10 月的相关系数最低为-0.279。从当年的 2 月开始 PDSI 与生产力正相关, 一直到 9 月都是正相关, 6 月的相关系数最高达到 0.435, 此后又逐步降低。整个生长季节的水分可用性促进马尾松的生长。PDSI 综合了温度降水等气候指标, 因此虽然 6—9 月的温度降水光照相关性不显著, 但是综合在一起就说明在这段时间土壤水分的可用性是关键。

2.4 生产力与气候因子的回归分析

鸡公山老龄马尾松的生产力与气候因子密切相关, 本研究尝试通过多元回归描述生产力与气候因子之间的关系。采用多元逐步回归法, 将包括上年 8 月, 当年 2、3、5、10 月的与生产力相关性达到显著水平 ($P < 0.05$) 的气候因子作为自变量, 应用向后剔除法, 按照气候条件对生产力的影响由小到大依次剔除对生产力影响较小的因子, 最后得到净生产力与 3 个气候因子的回归方程:

$$NPP = 2965.129 + 32.859S_{10} + 324.887T_2 - 14.247S_5 \quad (R^2 = 0.585, P < 0.01, n = 29)$$

式中, S_{10} 是当年 10 月的光照时间, 单位为 h; T_2 是 2 月的温度单位为 $^{\circ}\text{C}$; S_5 是 5 月的光照时间, 单位为 h。净生产力的单位为 kg/hm^2 ; 方程对生产力变化的解释较高, 说明大部分的生产力变化是由于气候变化引起的。回归方程的自变量只有当年 2、5、10 月的气候因子, 2 月温度和 10 月光照的回归系数为正值代表该月的

热量水平促进生长,5月光照的回归系数是负值说明光照时间决定干旱程度,光照时间越长就相对越干旱。1999年的生产力较小主要是由于当年10月遇到了冷空气的活动当月的光照不及最高的一半,而相反1997年的生产力较高主要是因为10月份充足的光照和较高的温度。

3 讨论

3.1 鸡公山马尾松的生物量和净生产力

鸡公山地区马尾松林的生物量从1980年的 59.00 t/hm^2 到2009年的 254.75 t/hm^2 ,在近30a的时间中增长了超过3倍,30a生产力最高达到 $10.32 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,最低为 $4.59 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。李海涛^[19]和严茂超^[20]利用全国马尾松蓄积量和生物量的关系和二类资源清查的资料分别计算出1991年和1999年整个鸡公山保护区所有马尾松的生物量,为 33.59 t/hm^2 和 55.49 t/hm^2 ,而在本研究中1991年和1999年的生物量为 127.73 t/hm^2 和 188.79 t/hm^2 ,生物量有较大的差异,但是在本研究中1991年生产力为 $9.03 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 与李海涛的结果 $9.66 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 相近。生物量存在这样大的差距主要是由于研究的对象和方法不同。鸡公山有大面积不同林龄和立地条件的马尾松,本研究所选样地处于鸡公山保护区的下坡,土壤较厚,年龄在鸡公山自然保护区最大,而其他立地条件的马尾松年龄较小,所以与平均相比生物量较高而生产力略低。这也可能与方法的不同有关,本研究利用的是信阳地区的马尾松生物量方程,由树高和胸径估算不同器官的生物量,但是李海涛的研究是用全国马尾松的维量方程,是由蓄积量与生物量的关系推得到的,因此两种方法存在差异。同时本研究只对乔木层的生产力,所以较整个林分的生产力略小。

从整个亚热带地区来看,鸡公山马尾松的生物量随着年龄的增长可以积累到较高,但是其生产力要低于低纬度地区。本研究中2009年50年生的马尾松林乔木层的生物量达到 254.75 t/hm^2 ,而在广西的研究36年生的马尾松生物量能达到 434 t/hm^2 ^[21],在福建武夷山,25年生的马尾松纯林生物量就能达到 204.37 t/hm^2 ,生产力为 $7.34 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 较本研究略高^[22];本研究的结果与贵州龙里的30年生马尾松纯林的生物量 234.12 t/hm^2 相近,但是贵州龙里的生产力为 $11.93 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 相比之下鸡公山的生产力要小^[5],说明受到热量和水分限制马尾松的南北分布两界生物量有较大的差异,同龄的马尾松林生物量和生产力随着纬度的升高而逐渐下降,北亚热带地区马尾松的生产力较南亚热带低。但是与北京八达岭30年生生油松乔木层 68.11 t/hm^2 相比要高很多^[23],说明水热条件决定了北亚热带生物量和生产力低于低纬度地区而高于高纬度的其他树种。而同纬度带的美国火炬松50年生人工林地上部分就可以达到 250 t/hm^2 以上,生产力能达到 $16\text{--}22 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[24],这可能是由于马尾松处于分布的北界是其分布地区中生产力最低的,而火炬松处于美国南部立地条件较好的地区。

3.2 气候对生产力的影响

本研究中发现马尾松林的净生产力与气候的关系较密切,主要受到当年2、5、10月的气候条件影响。在回归方程中可以看出3个主要的因子可以解释0.585的方差,说明马尾松生产力的形成在一定的立地条件下主要受到气候的控制,生产力变异主要是是由于气候变化引起。

在北亚热带地区早春2月温度已经开始超过 5°C ,是有效积温的起点,正是树木体内液流开始的起始温度,此时温度越高马尾松的萌动时间越早,对新枝和新叶的生长有利,提早光合作用开始时间,生产力相应升高;5月温度已经超过 20°C ,是马尾松的早材快速生长期,但是此时高温和强光照可能会造成地表水分的蒸发,对生长造成水分胁迫,不利于生长,所以表现出年生产力与5月的湿度正相关而与光照和温度负相关。当年10月是生长的结束时间,不论是降水、温度、湿度、光照都与生产力显著相关,只有PDSI相关性没有达到显著水平,说明生长结束时的气候条件对生长的影响极为强烈,因为此时是秋材生成的主要时期,如果冷空气活动频繁,阴雨天气使降水增多,湿度增大,光照减少,温度降低,这对生长季节晚期的生长极其不利,形成主要的制约条件。同时生长季节的PDSI与生产力显著正相关,说明在生长季节水分的可用性是生产力形成的重要因子。这恰好证明了生长季节的开始和结束时的温度以及生长季节的水分是生产力形成的制约。史江峰对贺兰山油松的研究发现限制生长的主要气候因子与本研究相似,生长开始和结束季节的温度和生长季节的

降水是限制油松年轮宽度的主要因素^[25]。兰涛在安徽的研究结果显示生长季节的降水是生长的主要限制因子,这与 PDSI 的影响作用相似,但是 10 月的降水对生长作用却相反。而在南亚热带地区的鼎湖山研究发现夏季的高温高湿是制约马尾松年轮宽度的关键^[11],这是因为在南亚热带地区水热充沛,夏季高温和高湿会抑制生长,而在北亚热带,降水和温度都较低,生长期的长短和生长期内的水分成为限制因子,恰好解释了南北分布边缘水热条件对生长影响的差异。

生产力与 PDSI 相关系数说明了在生长季节水分的可用性是主要的影响因子,并且这种关系较降水、温度的影响比较稳定,是抛物线式的连续变化,且在 6 月达到最高。这与德克萨斯州的长叶松生长对 5—9 月的 PDSI 的响应相似,只是相关系数最高月是 8 月^[26]。这是因为 PDSI 与上月的气候状况是相关的,上月干旱与否直接影响到下月的干旱程度,所以表现出相关性的稳定变化。降水对生长的影响较复杂,这与王兵在大岗山对樟树的结果类似^[27],虽然 3—9 月的降水对生产力的影响比较复杂,但降水与 PDSI 的影响不同,这是由于 PDSI 是一个综合的指标,代表的是土壤水分可用性,不仅仅与降水有关,还受到其他气象因子的制约,降水的多少并不能完全反应当地的干旱程度。这与北美干旱地区的研究类似,某一时间段内的降水总量并不能很好的反应土壤水分的可用性高低^[28]。

季节分析与月分析的结果相似,季节的降水与生产力的相关性较高,主要表现在生长开始季和结束季,但是结束季的 PDSI 相关性不高。季节温度相关性不明显,这可能是季节的平均温度描述的时间太长,气温波动对生长的限制不明显,与于大炮在长白山的研究相似^[29]。

4 结论

鸡公山处于北亚热带和温带的交界地带,温度和降水较南亚热带地区都有差距,马尾松林的生物量从 1980 年到 2009 年随着年龄的增长逐渐增加,从 59.00 t/hm² 达到了 254.75 t/hm²;生产力与气候因素密切相关,随着气候条件的变化而上下波动,年平均为 6.64 t·hm⁻²·a⁻¹,生物量和生产力较低纬度地区较低;生产力的年际变化主要是由于气候因素引起的,主要是生长季节当年 2、5 月和 10 月的水热条件,即早春和晚秋的温度变化决定的生长季节的长短和生长季节的土壤水分可用性。根据中国气候变化的趋势,未来该地区温度将会升高,降雨量增加^[30],温度升高将使生长开始期提早而生长结束期延迟,延长了生长期,同时生长期内的降水增加,限制马尾松生长的水热条件将变得宽裕,有利于北亚热带马尾松的生长。但是由于降水的时间格局不同,对生长影响的不确定性尚不明确。

整体看来,虽然生长季节不同时期的气候因子对生长的影响有不同的差异,生长期的长短和生长期土壤水分的可用性是关键,回归方程对生产力的解释程度较高。但是本研究只是取胸径处的年轮变化,对树高的估计可能存在一定的误差,在分析生产力对气候的响应中没有考虑二氧化碳浓度增高对生产力的影响,需要深入研究。

致谢:在采样和调查中得到了鸡公山自然保护区管理局的大力支持,外业联系得到中国林业科学研究院黄志霖副研究员的帮助,特此致谢。

References:

- [1] Qin G F. Geographical origin and evolution of Masson pine. *Forest Research*, 2002, 15(4): 406-412.
- [2] Zhou Z X. *Masson pine in China*. Beijing: China Forestry Press, 2000: 14-16.
- [3] Miao Q L, Ding Y Y, Wang Y. Impact of climate warming on the northern boundary of sub-tropical zone of China. *Geographical Research*, 2009, 28(3): 634-642.
- [4] Hampe A, Petit R J. Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology Letters*, 2005, 8(5): 461-467.
- [5] Ding G J, Wang P C. Study on change laws of biomass and productivity of Masson pine forest plantation II. Biomass and productivity of stand at different ages. *Forest Research*, 2002, 15(1): 54-60.
- [6] Cook E R, Kairiukstis L A. *Methods of Dendrochronology: Applications in Environmental Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990: 104-123.
- [7] Fritts H C. *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press, 1976: 258-270.

- [8] Xia B, Lan T, He S A. A Preliminary study on the climate reconstruction in a warm and humid area Liyang, Jiangsu Province by using tree ring data of *Pinus massoniana*. *Journal of Plant Resources and Environment*, 1994, 3(2) : 34-38.
- [9] Lan T, Xia B, He S A. Tree ring analysis on relation of *Pinus massoniana* growth to climate factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1994, 5(4) : 422-424.
- [10] Hou A M, Zhou G Y, Peng S L. Relationship between climatic factors and radial growth of *Pinus massoniana* in Dinghushan Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(4) : 637-639.
- [11] Lei J P, Xiao W F, Huang Z L, Zeng L X. Responses of ring width of *Pinus massoniana* to the climate change at different elevations in Zigui County, Three-Gorge Reservoir Area. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(2) : 33-39.
- [12] Shao Q Q, Huang L, Liu J Y, Yang H J, Chen Z Q. Dynamic analysis on carbon accumulation of a plantation in Qianyanzhou based on tree ring data. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19(6) : 691-706.
- [13] Bouriaud O, Bréda N, Dupouey J L, Granier A. Is ring width a reliable proxy for stem-biomass increment? A case study in European beech. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(12) : 2920-2933.
- [14] Teng L, Peng S L, Hou A M, Xie Z Y. Effect of air temperature change on the productivity of *Pinus massoniana* population in Dinghushan. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2001, 9(4) : 284-288.
- [15] Yang T. The investigating and study to the natural secondary mixed forest's biomass and the root system's spreading character of the oak and the Masson pine. *Journal of Xinyang Agricultural College*, 2004, 14(4) : 4-6.
- [16] Alley W M. The palmer drought severity index as a measure of hydrologic drought. *Journal of the American Water Resources Association*, 1985, 21(1) : 105-114.
- [17] Sun M F, Wang H J. Relationship and its instability of ENSO — Chinese variations in droughts and wet spells. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 2007, 50(1) : 145-152.
- [18] Dai A G, Trenberth K E, Qian T T. A global dataset of Palmer drought severity index for 1870—2002; relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 2004, 5(6) : 1117-1130.
- [19] Li H T, Yang L C, Yang M C, Dong X B, Hu D, Zhang Z X, Du H T. Valuation and dynamic modeling of the biomass of forest vegetation in the Jigongshan Mountain Natural Reserve. *Resources Science*, 2005, 27(4) : 154-159.
- [20] Yang M C, Yang L C, Li H T, Hu D, Zhang Z X, Du H T, Ha D L. A study on the biomass and live carbon storage of the forest vegetation in the Jigongshan Mountain Natural Reserve. *Journal of Henan Forestry Science and Technology*, 2004, 24(4) : 1-4.
- [21] Tian D L, Xiang W H, Yan W D. Comparison of biomass dynamic and nutrient cycling between *Pinus massoniana* plantation and *Pinus elliottii* plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10) : 2207-2210.
- [22] Fan H B, Li Y Y, Su B Q, Lin D X, Liu C H, Jiang Z K. Allocation pattern of biomass and productivity in the mixed uneven-aged stands of Masson's pine and hardwood species. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8) : 2463-2473.
- [23] Wu H X, Shi Y G, Zhang H Z, Zhang S C. Study on the biomass of *Pinus tabulaeformis* in Badaling Tree Farm. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2006, 21(3) : 240-242.
- [24] Carter M C, Foster C D. Milestones and millstones: A retrospective on 50 years of research to improve productivity in loblolly pine plantations. *Forest Ecology and Management*, 2006, 227(1/2) : 137-144.
- [25] Shi J F, Liu Y, Cai Q F, Yi L. A case study of physiological characteristics of statistical correlation between *Pinus tabulaeformis* tree-ring widths and climatic factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3) : 697-705.
- [26] Henderson J P, Grissino-Mayer H D. Climate-tree growth relationships of longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.) in the Southeastern Coastal Plain, USA. *Dendrochronologia*, 2009, 27(1) : 31-43.
- [27] Wang B, Gao P, Guo H, Leng L. Responses of tree-ring width of *Cinnamomum camphora* to climate change in Dagangshan forest area of Jiangxi Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(1) : 71-76.
- [28] Kempes C P, Myers O B, Breshears D D, Ebersole J J. Comparing response of *Pinus edulis* tree-ring growth to five alternate moisture indices using historic meteorological data. *Journal of Arid Environment*, 2008, 72(4) : 350-357.
- [29] Yu D P, Wang S Z, Tang L N, Dai L M, Wang Q L, Wang S X. Relationship between tree-ring chronology of *Larix olgensis* in Changbai Mountains and the climate change. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(1) : 14-20.
- [30] Ding Y H, Ren G Y, Shi G Y, Gong P, Zheng X H, Zhai P M, Zhang D E, Zhao Z C, Wen H J, Wen S W, Luo Y, Chen D L, Gao X J, Dai X S. National assessment report of climate change (1) : climate change in China and its future trend. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(1) : 3-8.

参考文献:

- [1] 秦国峰. 马尾松地理起源及进化繁衍规律的探讨. *林业科学研究*, 2002, 15(4) : 406-412.

- [2] 周政贤. 中国马尾松. 北京: 中国林业出版社, 2000: 14-16.
- [3] 缪启龙, 丁园圆, 王勇. 气候变暖对中国亚热带北界位置的影响. 地理研究, 2009, 28(3): 634-642.
- [5] 丁贵杰, 王鹏程. 马尾松人工林生物量及生产力变化规律研究 II. 不同林龄生物量及生产力. 林业科学研究, 2002, 15(1): 54-60.
- [8] 夏冰, 兰涛, 贺善安. 利用马尾松年轮资料重建江苏暖湿地区气候的初步研究. 植物资源与环境学报, 1994, 3(2): 34-38.
- [9] 兰涛, 夏冰, 贺善安. 马尾松的生长与气候关系的年轮分析. 应用生态学报, 1994, 5(4): 422-424.
- [10] 侯爱敏, 周国逸, 彭少麟. 鼎湖山马尾松径向生长动态与气候因子的关系. 应用生态学报, 2003, 14(4): 637-639.
- [11] 雷静品, 肖文发, 黄志霖, 曾立雄. 三峡库区秭归县不同海拔马尾松径向生长对气候的响应. 林业科学, 2009, 45(2): 33-39.
- [14] 滕菱, 彭少麟, 侯爱敏, 谢中誉. 长期气温波动对鼎湖山马尾松种群生产力的影响. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(4): 284-288.
- [15] 杨涛, 麻栎. 马尾松天然次生混交林生物量结构及根系分布特征调查研究. 信阳农业高等专科学校学报, 2004, 14(4): 4-6.
- [19] 李海涛, 杨柳春, 严茂超, 董孝斌, 胡聃, 张照喜, 杜化堂. 鸡公山自然保护区森林生物量动态模拟及其宏观价值评估. 资源科学, 2005, (4): 154-159.
- [20] 严茂超, 杨柳春, 李海涛, 胡聃, 张照喜, 杜化堂, 哈德龙. 鸡公山自然保护区森林植被生物量及活碳蓄积量研究. 河南林业科技, 2004, (4): 1-4.
- [21] 田大伦, 项文化, 闫文德. 马尾松与湿地松人工林生物量动态及养分循环特征. 生态学报, 2004, 24(10): 2207-2210.
- [22] 樊后保, 李燕燕, 苏兵强, 林德喜, 刘春华, 蒋宗坤. 马尾松-阔叶树混交异龄林生物量与生产力分配格局. 生态学报, 2006, 26(8): 2463-2473.
- [23] 武会欣, 史月桂, 张宏芝, 张锁成. 八达岭林场油松林生物量的研究. 河北林果研究, 2006, (3): 240-242.
- [25] 史江峰, 刘禹, 蔡秋芳, 易亮. 油松 (*Pinus tabulaeformis*) 树轮宽度与气候因子统计相关的生理机制——以贺兰山地区为例. 生态学报, 2006, 26(3): 697-705.
- [27] 王兵, 高鹏, 郭浩, 冷冷. 江西大岗山林区樟树年轮对气候变化的响应. 应用生态学报, 2009, 20(1): 71-76.
- [29] 于大炮, 王顺忠, 唐立娜, 代力民, 王庆礼, 王绍先. 长白山北坡落叶松年轮年表及其与气候变化的关系. 应用生态学报, 2005, 16(1): 14-20.
- [30] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 宫鹏, 郑循华, 翟盘茂, 张德二, 赵宗慈, 王绍武, 王会军, 罗勇, 陈德亮, 高学杰, 戴晓苏. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 8 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The relationship between <i>Populus euphratica</i> 's radial increment and groundwater level at the lower reach of Tarim River	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (2053)
Influence of elevation factor on soil profile texture configuration: a case study of the alluvial plain of Fengqiu County	TAN Manzhi, MI Shuxiao, LI Kaili, et al (2060)
Effects of ozone on AsA-GSH cycle in soybean leaves	WANG Junli, WANG Yan, ZHAO Tianhong, et al (2068)
The effects of physical and chemical factors on the growth and lipid production of <i>Chlorella</i>	ZHANG Guiyan, WEN Xiaobin, LIANG Fang, et al (2076)
Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in North Subtropical Region	CHENG Ruimei, FENG Xiaohui, XIAO Wenfa, et al (2086)
Soil respiration of <i>Zoysia matrella</i> turfgrass in subtropics	LI Xibo, YANG Yusheng, ZENG Hongda, et al (2096)
Effect of UV-B radiation on the leaf litter decomposition and nutrient release of <i>Pinus massoniana</i>	SONG Xinzhang, ZHANG Huiling, JIANG Hong, et al (2106)
Physiological ecological effect of endophyte infection on <i>Achnatherum sibiricum</i> under drought stress	HAN Rong, LI Xia, REN Anzhi, et al (2115)
Zinc Tolerance and Accumulation Characteristics of <i>Armillaria mellea</i>	ZHU Lin, CHENG Xianhao, LI Weihuan, et al (2124)
Expansion strategies of <i>Caragana stenophylla</i> in the arid desert region	ZHANG Jianhua, MA Chengchang, LIU Zhihong, et al (2132)
Effects of mixed plant residues from the Loess Plateau on microbial biomass carbon and nitrogen in soil	WANG Chunyang, ZHOU Jianbin, XIA Zhimin, et al (2139)
Survival strategy of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Agropyron cristatum</i> in typical steppe of Inner Mongolia	SUN Jian, LIU Miao, LI Shenggong, et al (2148)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in <i>Salix psammophila</i> root-zone soil in Inner Mongolia desert	HE Xueli, YANG Jing, ZHAO Lili (2159)
An experimental study on the the effects of different diurnal warming regimes on single cropping rice with Free Air Temperature Increased (FATI) facility	DONG Wenjun, DENG Aixing, ZHANG Bin, et al (2169)
Endophytic bacterial diversity in <i>Achnatherum inebrians</i> by culture-independent approach	ZHANG Xuebing, SHI Yingwu, ZENG Jun, et al (2178)
Hierarchical Partial Least Squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's Ecological Footprint (EF) and its development strategy	JIA Junsong (2188)
Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City	YANG Qiyong, YANG Jinsong, YU Shipeng (2196)
The toxicity of lupeol of <i>Inula britannica</i> on <i>Tetranychus cinnabarinus</i> and its effects on mite enzyme activity	DUAN Dandan, WANG Younian, CHENG Jun, et al (2203)
Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China	YE Lei, ZHU Guibing, WANG Yu, et al (2209)
Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities: Taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example	WANG Ding, YAO Jian, YANG Xue, et al (2216)
Comparison of structure and species diversity of <i>Eucalyptus</i> community	LIU Ping, QIN Jing, LIU Jianchang, et al (2227)
Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands	JIANG Bo, OUYANG Zhiyun, MIAO Hong, et al (2236)
Effects of <i>Phragmites australis</i> on methane emission from a brackish estuarine wetland	MA Anna, LU Jianjian (2245)
Genetic differentiation and the characteristics of uptake and accumulation of lead among <i>Camellia sinensis</i> populations under different background lead concentrations of soils in Yunnan, China	LIU Shengchuan, DUAN Changqun, LI Zhenhua, et al (2253)
Comparison of zooplankton lists between <i>Coilia mystus</i> food contents and collections from the Yangtze River Estuary & Hangzhou Bay	LIU Shouhai, XU Zhaoli (2263)
Reconstruction and analysis of July-September precipitation in Mt. Dagangshan, China	QIAO Lei, WANG Bing, GUO Hao, et al (2272)
Analysis on economic and ecological benefits of no-tillage management of <i>Carya cathayensis</i>	WANG Zhengjia, HUANG Xingzhao, TANG Xiaohua, et al (2281)
GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (2290)
Review and Monograph	
Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration	YANG Qingpeng, XU Ming, LIU Hongsheng, et al (2301)
The advance of allometric studies on plant metabolic rates and biomass	CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2312)
Practice and the research progress on eco-compensation for cultivated land	MA Aihui, CAI Yinying, ZHANG Anlu (2321)
Discussion	
Soil water holding capacities and infiltration characteristics of three vegetation restoration models in dry-hot valley of Yuanmou	LIU Jie, LI Xianwei, JI Zhonghua, et al (2331)
Scientific Note	
Effects of secondary, micro- and beneficial elements on rice growth and cadmium uptake	HU Kun, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (2341)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 8 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 8 2011

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

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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
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

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

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

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@espg.net

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@espg.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

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

广告经营
许 可 证 京海工商广字第 8013 号



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 70.00 元