

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第12期 Vol.32 No.12 2012

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 (SHENTAI XUEBAO)

第32卷 第12期 2012年6月 (半月刊)

目 次

河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例	孙永光,赵冬至,吴 涛,等 (3645)
鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征	张全军,于秀波,钱建鑫,等 (3656)
青岛市湿地生态网络评价与构建	傅 强,宋 军,毛 锋,等 (3670)
大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例	叶 春,李春华,王秋光,等 (3681)
绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态	王书敏,何 强,张峻华,等 (3691)
坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响	何先进,吴鹏飞,崔丽巍,等 (3701)
枣园桃蛀果蛾寄生蜂种类及其与寄主的关系	姚艳霞,赵文霞,常聚普,等 (3714)
基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价	邹丽丽,陈晓翔,何 莹,等 (3722)
温度、盐度和 pH 对马氏珠母贝稚贝清滤率的联合效应	朱晓闻,王 辉,刘 进,等 (3729)
鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险	赵丽平,杨贵明,赵同科,等 (3737)
黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系	张俊华,李国栋,南忠仁 (3745)
DEM 棚格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响	邱临静,郑粉莉, Yin Runsheng (3754)
粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响	郭冠华,陈颖彪,魏建兵,等 (3764)
基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例	陈 杰,梁国付,丁圣彦 (3773)
城市能源利用碳足迹分析——以厦门市为例	林剑艺,孟凡鑫,崔胜辉,等 (3782)
高寒牧区村域生态足迹——以甘南州合作市为例	王录仓,高 静 (3795)
太湖湖滨带生态系统健康评价	李春华,叶 春,赵晓峰,等 (3806)
秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量	党坤良,陈俊娴,孙飞翔,等 (3816)
盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响	尤 佳,王文瑞,卢 金,等 (3825)
海南霸王岭山地原始林与伐后林中木质藤本对支持木的选择	刘晋仙,陶建平,何 泽,等 (3834)
闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应	王振兴,朱锦懋,王 健,等 (3841)
基于形态及分子标记的濒危植物夏蜡梅自然居群的遗传变异研究	金则新,顾婧婧,李钧敏 (3849)
不同径级油松径向生长对气候的响应	姜庆彪,赵秀海,高露双,等 (3859)
珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布	袁春明,孟广涛,方向京,等 (3866)
巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较	胡红玲,张 健,万雪琴,等 (3873)
银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响	黄激激,胡庭兴,张念念,等 (3883)
基于氘示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究	孙守家,孟 平,张劲松,等 (3892)
石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性	张显强,曾建军,谌金吾,等 (3902)
含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响	陈 琳,谷 洁,高 华,等 (3912)
钝叶柃不同性别花的花部形态与传粉特征比较	王 苗,邓洪平,丁 博,等 (3921)
我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性	何奇瑾,周广胜 (3931)
烯效唑干拌种对小麦氮素积累和运转及籽粒蛋白质品质的影响	樊高琼,杨恩年,郑 亭,等 (3940)
专论与综述	
中国产业共生发展模式的国际比较及对策	石 磊,刘果果,郭思平 (3950)
研究简报	
吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化	张国坤,卢京花,宋开山,等 (3958)
杨树人工林生态系统通量贡献区分析	金 莹,张志强,方显瑞,等 (3966)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-06



封面图说: 鸳鸯——在分类上属雁形目, 鸭科。英文名为 Mandarin Duck(即“中国官鸭”)。鸳指雄鸟, 鸯指雌鸟, 故鸳鸯属合成词。常常栖息于山地河谷、溪流、湖泊、水田等处, 雌雄偶居, 以植物性食物为主, 也食昆虫等小动物。繁殖期 4—9 月间, 雌雄配对后迁至营巢区。巢往往置于树洞中, 用干草和绒羽铺垫, 每窝产卵 7—12 枚。江西省婺源鸳鸯湖是亚洲最大的野生鸳鸯越冬栖息地。鸳鸯是一种美丽的禽鸟, 中国传统文化又赋予它很多美好的寓意, 因此, 在许多文学艺术作品中经常用以表达爱情。

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

DOI: 10.5846/stxb201109091323

姜庆彪,赵秀海,高露双,王晓明,王雨茜.不同径级油松径向生长对气候的响应.生态学报,2012,32(12):3859-3865.

Jiang Q B, Zhao X H, Gao L S, Wang X M, Wang Y X. Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3859-3865.

不同径级油松径向生长对气候的响应

姜庆彪,赵秀海*,高露双,王晓明,王雨茜

(北京林业大学,北京 100083)

摘要:建立了黑里河自然保护区油松年轮宽度年表,通过不同径级油松径向生长对逐月气候因子的响应关系,研究了干旱对不同径级油松径向生长的影响。结果表明:两个径级油松的年轮宽度指数达到极显著相关($R = 0.943, P < 0.01$),其中小径级(平均胸径20 cm)油松年表的平均敏感度显著高于大径级(平均胸径43 cm)油松年表($P < 0.01$)。不同径级油松均与上年9月、当年2月及当年5—6月的降水显著正相关($P < 0.05$),与当年6月的平均温度显著负相关($P < 0.05$),此外,小径级油松还与当年7月的降水显著正相关($P < 0.05$);降水是影响油松生长的主要气候因子。不同径级油松的径向生长量在干旱年份均显著降低($P < 0.01$)且小径级油松的生长降低量显著高于大径级油松($P < 0.01$);不同径级油松生长量在干旱发生后1年左右的时间内均恢复正常且小径级油松恢复速度更快。

关键词:黑里河;油松;年轮生态学;干旱

Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter

JIANG Qingbiao, ZHAO Xiuhai*, GAO Lushuang, WANG Xiaoming, WANG Yuxi

Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Tree growth response to climate change in most dendrochronological studies are usually analyzed using dominant trees in a stand. However, trees' climate-growth relationship changes in tree size, which may affect tree growth response to climate change. We built 31 tree-ring chronologies of *Pinus tabulaeformis* in Heiliehe natural preservation areas to represent two groups of trees: dominate trees ($N=15$, mean diameter = 43 cm) and suppressed trees ($N=16$, mean diameter = 20cm). We analyzed differences in climate-growth relationships between two groups of trees and then discussed whether drought differentially affected the ring-widths in these groups. Climate-growth relationships were analyzed using the correlation and response functions and the effect of drought on tree growth was evaluated by superposed epoch analysis (SEA) using nine drought years. For SEA analyses, five years prior to drought and five years following a drought year were considered. The mean sensitivity of suppressed trees were significantly higher than dominant trees ($P<0.01$), meanwhile the signal-noise ratio and the variance in first eigenvector were much higher in suppressed than in dominant trees. Ring width indices of two chronologies were highly correlated($R=0.943, P<0.01$) while the raw ring widths were significantly different ($P<0.001$). The ring-widths of all trees were significant positive correlated to precipitation of February, May, June and September of the previous year ($P<0.05$). Growth of suppressed trees was positive correlated to precipitation of July ($P<0.05$). The ring-widths of all samples were positively correlated to spring temperature and negatively correlated to summer temperature. Growth of all trees was significantly and negatively correlated to monthly mean temperature of June ($P<0.05$). Dominant trees were more sensitive to climate during the previous year while suppressed trees were more sensitive to weather during the current year. In general, June was the most influential month. Precipitation appeared to be

基金项目:林业公益性行业科研专项基金(200904022);“十二五”国家科技支撑课题(2012BAC01B03);北京市共建项目专项资助(2011)

收稿日期:2011-09-09; 修订日期:2012-03-26

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoxh@bjfu.edu.cn

the most important factor for the radial growth of Chinese pine. SEA revealed significant growth reduction during drought years as compared to non-drought years ($P < 0.01$) in both tree groups, indicating drought sensitivity of Chinese pine. Tree-rings in suppressed trees showed higher growth reductions caused by drought than those of dominant trees. Radial growth in all trees recovered to the level of pre-drought years in one year after drought and Suppressed trees recovered faster. Although suppressed trees were more sensitive to drought, they recovered quicker and showed more plastic response as compared to dominant trees. Dominant trees and suppressed trees showed a similar pattern in response to drought; a significant growth reduction and recovery to normal growth in the following year. Suppression appeared to enhance the effect of climate on tree radial growth. Some possible reasons for these effects are discussed. Our results reveal a pattern similar to the one in conifer species in Mediterranean region, where suppressed trees showed stronger growth reductions than dominant trees. Our results also demonstrate that suppressed trees are more sensitive to climate change. Further studies should help to evaluate the way in which tree suppression affects tree growth response to climate change in conifers in temperate continental climate.

Key Words: Heilihe; Chinese pine; dendroecology; drought

树木年轮对气候变化的响应是年轮生态学研究的重要内容之一^[1]。目前,关于树木年轮对气候变化响应的研究主要是针对大径级树木进行的^[2]。然而已有研究表明,径级会对树木的气候-生长相关关系产生影响^[3]。因此在年轮与气候变化的响应研究中应考虑径级因素以得到更全面的结果。

干旱作为一种重要的极端气候事件,随着全球气候变化,发生的频率和强度都在急剧增加^[4-5]。干旱的加剧会对森林生态系统产生影响。了解干旱对不同径级植物生长的影响是了解气候变化对森林生态系统结构和生产力影响的基础。目前针对于干旱对树木生长的研究主要集中在雨热不同期的地中海气候分布的地区^[6]。结果表明,干旱显著抑制植物径向生长^[6]并且对林下层树木具有更强的抑制作用^[7]。但是在不同的气候条件分布的地区,干旱对树木生长的影响是不同的^[8]。在雨热同期的温带大陆性气候分布的区域,还没有相关研究开展。

本文选择了位于内蒙古赤峰市黑里河自然保护区的天然油松林为研究对象,建立了不同径级油松年轮宽度年表,通过研究树木年轮与气候因子的相关关系,研究了不同径级油松径向生长对气候变化的响应。

1 材料与方法

1.1 样品的采集和数据处理

研究地点位于内蒙古自治区赤峰市黑里河国家自然保护区。保护区面积 27638 hm²,海拔 770—1836 m。该地区属于温带大陆性季风气候,冬冷夏热,年温差大,全年降水较少,主要集中在夏季。取样地点位于保护区核心区(118°28' E, 41°21' N, 海拔 1108 m),人为干扰较少。取样地点为西南坡,中上坡,凸形坡,坡度 20—30,年平均气温 3 ℃,年平均降水量 370 mm。土壤为棕壤土,肥力较高。群落的结构特征(乔木层,灌木层和草本层)明显。乔木优势种是油松(*Pinus tabulaeformis*),主要伴生种有糠椴(*Tilia mandshurica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、色木槭(*Acer mono*)和白桦(*Betula platyphylla*),只有极少数伴生种个体树高能够达到林冠层。

2010 年 8 月,按照国际年轮数据库(International Tree-ring Data Bank, ITRDB)的标准,在取样点分两个径级在胸径(1.3 m)处取样。取样时在油松生长受到非气候因素影响最小的方向(一般为垂直于坡向的方向)分别钻取两个样本。大径级油松(Dominate trees, DOM)指处于主林层,树高比周围油松高,胸径比周围油松大的油松,胸径均在 40 cm 以上;小径级油松(Suppressed trees, SUP)指处于次林层,受到周围大径级油松竞争的油松,胸径在 20 cm 左右。其中大径级油松(平均胸径 43 cm)共获得了 15 株树 30 个样芯;小径级油松(平均胸径 20 cm)共获得了 16 株树 32 个样芯。样本带回实验室后进行处理,将样本阴干后固定于木条上并使用 200、400 和 600 目的砂纸依次打磨至油松年轮在肉眼下清晰可辨。按照 Stokes 和 Smiley 的方法^[9]将所有

样本统一进行交叉定年,采用 Lintab5(精度 0.01 mm)测量年轮的宽度,最后用 COFECHA 程序^[10]对交叉定年的结果进行检验,最终所有样本均通过检验。COFECHA 程序的检验结果为:大径级油松主序列年限 89a(1921—2009 年),总轮数 2214 轮,所测轮数 2212 轮,平均序列长度 73.8a;小径级油松主序列年限 104a(1906—2009 年),总轮数 2529 轮,所测轮数 2527 轮,平均序列长度 79a。为了去除树木生长过程中与年龄相关的生长趋势及非气候环境干扰,用 ARSTAN 程序^[11]进行去趋势和标准化。首先使用负指数曲线对每个年轮序列进行拟合,以去除与树木年龄相关的生长趋势;若拟合失败,则用线性回归方法对序列进行直线拟合,并去树轮宽度序列和与其对应的生长趋势拟合曲线的比值,对去趋势序列进行双权韧性平均(Biweight robust mean),得到平均值为 1、无量纲的年轮宽度年表。最终获得三类年表,分别是标准年表(Standard chronology, STD),差值年表(Residual chronology, RES)和自回归年表(ARSTAN chronology, ARS)。

1.2 气候数据

本文使用了赤峰气象站记录的气候数据和网格气候数据,选择了距离采样地点经纬度最近海拔差距最小的网格点作为本文使用的网格气候数据。网格点的经度为 118°15' E, 41°45' N, 海拔 1179 m。数据包括 1927—2002 年的月降水量和月平均温度(图 1)。从图 1 可以看出该地区雨热同期,降水主要集中在 6—8 月,占了全年总降水量的 70% 以上,干湿季节区别明显。考虑到气候因子的“滞后效应”,选择了上年 9 月到当年 8 月的气候数据进行分析。本文使用的干旱年份来源于宁城县志。选择了宁城县志中记录的 1942, 1951, 1961, 1966, 1972, 1980, 1981, 1982, 1984 年等 9a 干旱年份。

1.3 统计和分析方法

不同径级油松对于环境因子的响应关系是通过 Dendroclim2002 软件^[12]中的相关和响应分析的方法建立的。

为了研究干旱事件对油松生长的影响,本文使用了 Superposed Epoch Analysis(SEA)方法。SEA 主要用于分析极端事件对时间序列的影响。在本文中,使用 EVENT 软件^[13]分析了干旱事件对油松年轮宽度的影响。选择了干旱年的前 5a,后 5a 共 11a 进行分析以观察干旱年油松生长量及干旱后生长量的恢复时间。

使用 SPSS 软件^[14]中的独立样本的 T 检验分析了干旱年份的油松年轮宽度与干旱前和干旱后的年轮宽度的差异。选择了干旱年、干旱前 1 年、干旱后 1 年的原始年轮宽度(Raw Ring Width, RW)和干旱前 5a 和干旱后 5a 的年轮宽度平均值来对比不同大小油松对干旱的响应是否一致。计算了干旱年油松生长降低量(%)和干旱后油松生长恢复量(%),计算公式为:

$$S_1 = [(RW_0 - RW_{-1}) / RW_{-1}] \times 100$$

$$S_2 = [(RW_{+1} - RW_0) / RW_0] \times 100$$

$$S_3 = [(RW_{+1} - RW_{-1}) / RW_{-1}] \times 100$$

$$S_4 = [(RW_0 - RW_{-5}) / RW_{-5}] \times 100$$

$$S_5 = [(RW_{+5} - RW_0) / RW_0] \times 100$$

$$S_6 = [(RW_{+5} - RW_{-5}) / RW_{-5}] \times 100$$

式中, S_1 为干旱年油松生长量比干旱前 1 年生长量降低的百分比, S_2 为干旱后 1 年比干旱年生长量恢复的百分比, S_3 为干旱后 1 年比干旱前 1 年生长量降低的百分比, S_4 为干旱年比干旱前 5 年生长量降低的百分比, S_5 为干旱后 5 年比干旱年生长量恢复的百分比, S_6 为干旱后 5 年比干旱前 5 年生长量降低的百分比; RW_0 为干旱年份油松样本的原始年轮宽度, RW_{-1} 为干旱前 1 年的原始年轮宽度, RW_{+1} 为干旱后 1 年的原始年轮宽度,

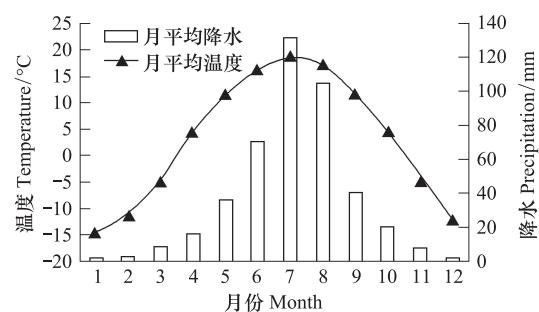


图 1 1927—2002 年月平均温度和降水变化

Fig. 1 Average monthly mean temperature and monthly precipitation in 1927—2002

RW_{-5} 为干旱前 5 年的原始年轮宽度平均值, RW_{+5} 为干旱后 5 年的原始年轮宽度平均值。

通过以上结果分析了不同大小油松干旱年生长降低量及干旱后生长恢复量是否具有显著差别。

2 结果与分析

2.1 年表分析

表 1 列举的两组油松共 6 个年表的基本统计数据。从表 1 可以看出, 两组油松年表的总体代表性为 0.91—0.96, 达到了 0.85 的可接受水平。年表的平均敏感度(0.26—0.40)、信噪比(10.59—26.99)和第一主成分所占方差量(50.14%—63.92%)均较大, 说明这个地区的油松对区域气候变化敏感, 适宜进行树木年轮学的研究。本研究选择了 RES 年表进行分析。经检验, 小径级油松 RES 年表的平均敏感度显著高于大径级油松($t=5.145, P<0.01$)。

表 1 黑里河自然保护区天然油松林不同径级油松年表的统计特征

Table 1 Chronology statistics of *P. tabulaeformis* of different diameter classes in Heilihe natural reserves

统计项 Statistics characters	DOM			SUP		
	STD	RES	ARS	STD	RES	ARS
平均敏感度 Mean sensitivity	0.26	0.29	0.26	0.36	0.40	0.34
一阶自相关系数 First order autocorrelation coefficient	0.37	-0.01	0.36	0.27	-0.01	0.35
所有序列间的相关系数 Mean correlation among all radii	0.46	0.56	-	0.52	0.62	-
树间平均相关系数 Mean correlation between trees	0.45	0.55	-	0.51	0.61	-
每树两芯间平均相关系数 Mean correlation within trees	0.77	0.78	-	0.83	0.84	-
信噪比 Signal-to-noise ratio	10.59	16.13	-	17.35	26.99	-
第一主成分所占方差量 Variance in first eigenvector/%	50.14	58.71	-	54.10	63.92	-
样本量总体代表性 Express population signal	0.91	0.94	-	0.95	0.96	-
子样本信号强度 > 0.85	1926(5)—1927(4)—			1915(5)—1914(3)—		
Subsample Signal Strength (SSS) > 0.85	2009	2009		2009	2009	

DOM: 大径级油松 Dominate trees; SUP: 小径级油松 Suppressed trees; STD: 标准年表 Standard chronology; RES: 差值年表 Residual chronology; ARS: 自回归年表 ARSTAN chronology

大径级油松的平均胸径为(43.00 ± 0.88) cm, 平均原始年轮宽度为(2.17 ± 0.09) mm; 小径级油松的平均胸径为(20.26 ± 1.05) cm, 平均原始年轮宽度为(0.89 ± 0.03) mm。经检验, 不同径级油松的平均胸径, 平均原始年轮宽度差异极显著($P<0.001$)。图 2 为不同径级油松的 RES 年表对比。从图 2 可以看出, 虽然不同径级油松平均胸径和平均原始年轮宽度差异极显著, 但是不同径级油松年轮宽度指数的变化十分相近, 两者的相关度达到 0.943($P<0.01$)。

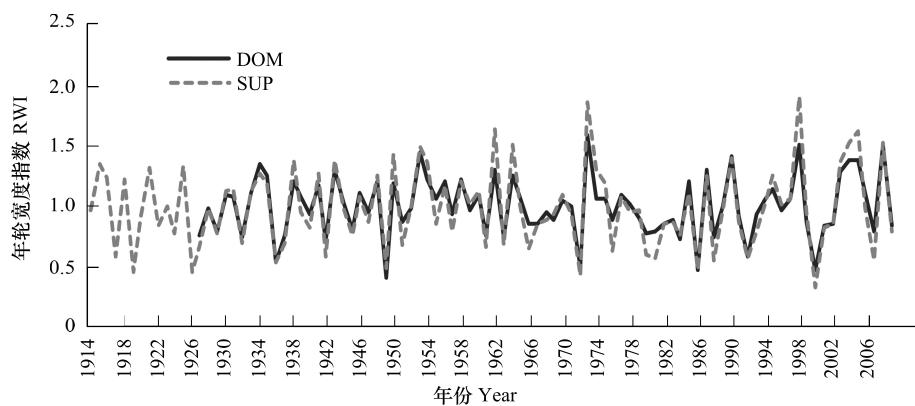


图 2 黑里河自然保护区油松林不同径级油松 RES 年表

Fig. 2 RES chronology of *P. tabulaeformis* of different diameter classes in Heilihe natural reserves

DOM: 大径级油松 Dominate trees; SUP: 小径级油松 Suppressed trees

2.2 径向生长对温度和降水的响应

从图3可以看出,油松的径向生长与降水呈现正相关关系。其中两组径级的油松对上年9月、当年2月及当年5—6月的降水呈现显著正相关($P<0.05$),并且小径级油松还与当年7月的降水呈显著正相关($P<0.05$)。油松的径向生长与春季温度呈现正相关而与夏季高温呈负相关。所有油松均与当年6月平均温度呈显著负相关($P<0.05$)。

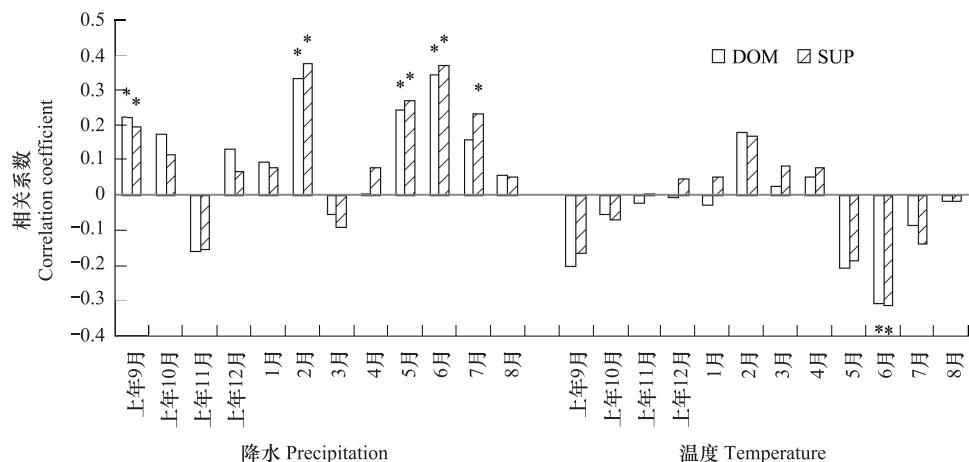


图3 油松年轮宽度与月份气候资料的相关关系(1927—2002年)

Fig. 3 Pearson correlations between tree-ring chronology of *P. tabulaeformis* and monthly mean temperature and precipitation from previous September to August in current year (1927—2002)

2.3 径向生长对干旱的响应

油松径向生长对干旱事件的响应如图4。不同径级油松的平均年轮宽度差异极显著($P<0.01$,表2)。干旱发生的当年不同径级的油松年轮宽度均显著降低($P<0.01$,图4)。其中小径级油松在干旱当年年轮宽度降低的百分比显著大于大径级油松($P<0.01$,表2)。所有油松均在干旱后1a生长恢复正常状态,甚至比干旱前表现出更多的生长量,但这种差异并不显著(表2)。不同径级油松的恢复百分比具有显著差异($P<0.01$)且小径级油松恢复的更快(表2),说明小径级的油松比大径级油松具有更好的生长可塑性。在所有油松中,干旱前后1a的径向生长均无显著差异,干旱后5a年轮宽度较干旱前5a略有降低但差异不显著(表2)。干旱发生年油松年轮宽度较前5a显著降低,且小径级油松的降低量显著高于大径级油松的生长降低量($P<0.01$,表2)。干旱后5a油松生长与干旱年宽度差异,且小径级油松的生长恢复量显著高于大径级油松(表2)。由此可以看出,和大径级油松相比,小径级油松在干旱发生年的生长降低量更大且干旱发生后生长量的恢复更快,说明小径级油松对干旱具有更加良好的响应。

3 讨论与结论

3.1 年表分析

多数树木年轮学研究取样时通常会选择大径级树木以减少非气候因子如竞争等对树木径向生长的影响^[15]。并且,通常研究认为大树对气候因子的年际变化更敏感,更适合进行树木年轮气候学的研究^[16]。然而本文的研究结果表明,小径级油松的平均敏感度显著高于大径级油松($P<0.01$)。这与一些研究结果类似^[17-18]。但也有一些研究表明树木敏感度与树木大小呈正相关关系^[16]或无相关关系^[19]。造成研究结果不

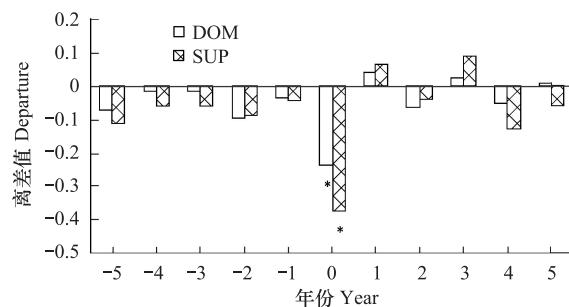


图4 干旱前后5年油松生长的离差值($P<0.01$)

Fig. 4 Tree growth departures of the drought years and 5 years prior drought and post-drought ($P<0.01$)

一致的原因目前并不明确。有人认为是由于随着径级的变化,不同树种的生理学过程变化不一致所造成^[19]。

表2 不同径级油松干旱前后5a 年轮宽度的平均值及相对变化

Table 2 Means±SE and relative changes (%±SE) of two tree sizes for 5 years before and after drought

径级 Diameter class	平均轮宽/mm Mean ring-width	S ₁ /% * S ₁ /%	S ₂ /% * S ₂ /%	S ₃ /% * S ₃ /%	S ₄ /% S ₄ /%	S ₅ /% S ₅ /%	S ₆ /% S ₆ /%
DOM	1.58±0.06 a	-22.85±2.47 a	70.06±7.99 a	19.54±4.39 a	-25.32±1.95 a	41.82±4.98 a	-3.08±2.86 a
SUP	0.46±0.02 b	-38.89±2.04 b	150.00±15.07 b	32.67±6.63 a	-40.46±1.57 b	95.14±9.41 b	-4.15±2.95 a

S₁: 干旱年比干旱前1年生长量降低的百分比 Percentage of growth reduction of drought year than 1 year pre-drought; S₂: 干旱后1年比干旱年生长量恢复的百分比 Percentage of growth recovery of 1 year post-drought than drought year; S₃: 干旱后1年比干旱前1年生长量降低的百分比 Percentage of growth reduction of 1 year pre-drought than 1 year post-drought; S₄: 干旱年比干旱前5年生长量降低的百分比 Percentage of growth reduction of drought year than 5 years pre-drought; S₅: 干旱后5年比干旱年生长量恢复的百分比 Percentage of growth recovery of 5 years post-drought than drought year; S₆: 干旱后5年比干旱前5年生长量降低的百分比 Percentage of growth reduction of 5 years pre-drought than 5 years post-drought; 每列中的相同字母代表两个均值差异不显著($P<0.01$)；* 因1980, 1981和1982年连续3a的干旱对前后1a的油松年轮宽度影响较大,故计算此值时忽略了这3a的宽度值

3.2 径向生长与温度和降水的关系分析

树木年轮学研究已经表明中国中东部地区油松年轮生长主要受到夏季温度和降水的影响^[20], 降水是影响油松径向生长的主要气候因子^[21]。本文的研究结果显示了相似的相关关系。油松径向生长与夏季降水呈正相关关系而与夏季温度呈负相关关系,且主要受到降水的影响。结果表明夏季干旱(高温缺水)会极大影响油松的径向生长。蔡秋芳等^[21]认为,温度是通过影响土壤含水量间接影响油松生长的。因此干旱期间的高温并不直接对油松径向生长产生影响,而是通过增强土壤水分的蒸发对年轮生长产生影响。所以干旱通过土壤水分含量的变化间接对油松生长产生影响。

小径级油松与7月降水显著正相关而大径级油松与7月降水无显著相关关系。这可能是由于小径级油松在竞争中处于劣势引起的。大径级油松根系拓展性好,可以利用土壤深层储存的水分,而小径级油松生长则更依赖于即时的降雨。7月的降水量为全年最高,此时的降水量和土壤深层储存的水量已基本能够满足大径级油松的生长,然而小径级油松仍然无法在与大径级油松竞争的过程中获得足够的水分,所以7月的降水仍然是小径级油松生长的限制因子。

3.3 干旱响应分析

在干旱年份,所有油松的径向生长量均显著降低。这与其它对于针叶树的研究结果相同^[22]。长期的水分胁迫会降低植物的净光合速率,导致光合产物的减少^[23]。同时,水分胁迫还会改变植物中碳的分配方式。叶中的碳水化合物和淀粉被分解以调节渗透压^[24],导致用于生长的碳减少。

小径级油松对干旱响应更强,这与相关研究的结果一致^[7-8]。Jacquart^[25]研究表明:和主林层个体相比,林下层个体具有更浅的根系和更低的树干径流,因此更容易受到干旱的影响。Pichler^[26]认为由于林下层树木在竞争中处于劣势,获得的水分和养分较少导致了林下层个体对干旱响应更强。生理生态学研究也表明了由于对水分的竞争导致了林下层幼树比开放生长的幼树受到干旱的影响更大^[27]。在研究地点降水是油松生长的限制因子,干旱年份降水的减少和蒸发量的增加增强了水分胁迫。土壤深层水分的补充在一定程度上缓冲了干旱对大径级油松的影响。而小径级油松在水分竞争中的劣势则加强了小径级油松受到的水分胁迫,所以小径级油松在干旱年的生长降低量显著大于大径级油松。

尽管不同径级油松对干旱的响应不同,但其对干旱的响应仍具有一致的模式,即在干旱年的生长量显著降低,干旱后一年生长量恢复正常。这与其他干旱地区的研究结果相同^[6],而在湿润地区的树木干旱后则具有更长的周期恢复生长^[28]。

3.4 结论

黑里河自然保护区油松对气候变化响应敏感,且小径级油松的敏感性更高。研究区油松的径向生长主要

与夏季降水和温度相关,降水是影响其径向生长的主要因子。油松在干旱年份的径向生长量显著降低,且小径级油松径向生长量降低的百分比更大。结果表明气候变化对小径级油松影响更明显。

References:

- [1] Liang E Y, Hu Y X, Lin J X. Effects of doubled CO₂ concentration on structure of vascular tissues of *Quercus liaotungensis*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(4): 506-510.
- [2] Shao X M, Wu X D. Reconstruction of climate change on Changbai Mountain, northeast China using tree-ring data. *Quaternary Sciences*, 1997, 17(1): 76-85.
- [3] Mérian P, Lebourgeois F. Size-mediated climate-growth relationships in temperate forests: a multi-species analysis. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261(8): 1382-1391.
- [4] IPCC. Climate Change, Fourth Assessment Report. London: Cambridge University Press, 2007.
- [5] Trenberth K E. Atmospheric moisture residence times and cycling: implications for rainfall rates and climate change. *Climatic Change*, 1998, 39(4): 667-694.
- [6] Martín-Benito D, Cherubini P, del Río M, Cañellas I. Growth response to climate and drought in *Pinus nigra* Arn. trees of different crown classes. *Trees*, 2008, 22(3): 363-373.
- [7] van den Brakel J A, Visser H. The influence of environmental conditions on tree-ring series of Norway spruce for different canopy and vitality classes. *Forest Science*, 1996, 42(2): 206-219.
- [8] Vose J M, Swank W T. Effects of long-term drought on the hydrology and growth of a white pine plantation in the southern Appalachians. *Forest Ecology and Management*, 1994, 64(1): 25-39.
- [9] Stokes M A, Smiley T L. An Introduction to Tree-Ring Dating. Chicago: the University of Chicago Press, 1968.
- [10] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 1983, 43(1): 69-75.
- [11] Cook E R, Holmes R L. Users manual for ARSTAN. Laboratory of Tree-ring Research. Tucson: University of Arizona, 1986.
- [12] Franco B, Kishor W. DENDROCLIM2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers and Geosciences*, 2004, 30(3): 303-311.
- [13] Holmes R L. Dendrochronology Program Library, Users Manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, 1999. <http://www.ltrr.arizona.edu/pub/dpl/>.
- [14] SPSS Inc. SPSS 16.0 Version for Windows User's Guide. Chicago: SPSS Inc, 2007.
- [15] Chhin S, Hogg E H, Lieffers V J, Huang SM. Potential effects of climate change on the growth of lodgepole pine across diameter size classes and ecological regions. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(10): 1692-1703.
- [16] Carrer M, Urbinati C. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology*, 2004, 85(3): 730-740.
- [17] Linares J C, Camarero J J, Carreira J A. Competition modulates the adaptation capacity of forests to climatic stress: insights from recent growth decline and death in relict stands of the Mediterranean fir *Abies pinsapo*. *Journal of Ecology*, 2010, 98(3): 592-603.
- [18] de Luis M, Novak K, Čufar K, Raventós J. Size mediated climate-growth relationships in *Pinus halepensis* and *Pinus pinea*. *Trees-Structure and Function*, 2009, 23(5): 1065-1073.
- [19] Esper J, Niederer R, Bebi P, Frank D. Climate signal age effects-evidence from young and old trees in the Swiss Engadin. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(11): 3783-3789.
- [20] Cui M X, He X Y, Chen W, Chen Z J, Zhou C H, Wu T. Dendrochronology of Chinese pine in Mulan-Weichang, Hebei Province: a primary study. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(11): 2339-2345.
- [21] Cai Q F, Liu Y, Bao G, Lei Y, Sun B. Tree-ring-based May-July mean temperature history for Lüliang Mountains, China, since 1836. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(20): 2033-2039.
- [22] Oberhuber W. The role of climate in the mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) exposed to soil dryness. *Dendrochronologia*, 2001, 19: 45-55.
- [23] Chartzoulakis K, Noitsakis B, Therios I. Photosynthesis, plant growth and carbon allocation in Kiwi, cv Hayward, as influenced by water deficits. *Acta Horticulturae*, 1993, 335: 227-234.
- [24] Chaves M M, Maroco J P, Pereira J S. Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 2003, 30(3): 239-264.
- [25] Jacquart E M, Armentano T V, Spingarn A L. Spatial and temporal tree responses to water stress in an old-growth deciduous forest. *American Midland Naturalist*, 1992, 127(1): 158-171.
- [26] Pichler P, Oberhuber W. Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. *Forest Ecology and Management*, 2007, 242(2-3): 688-699.
- [27] Kloepfel B D, Abrams M D, Kubiske M E. Seasonal ecophysiology and leaf morphology of four successional Pennsylvania barrens species in open versus understory environments. *Canadian Journal of Forest Research*, 1993, 23(2): 181-189.
- [28] Orwig D A, Abrams M D. Variation in radial growth responses to drought among species, site, and canopy strata. *Trees*, 1997, 11(8): 474-484.

参考文献:

- [1] 梁尔源,胡玉熹,林金星. CO₂浓度加倍对辽东栎维管组织结构的影响. *植物生态学报*, 2000, 24(4): 506-510.
- [2] 邵雪梅,吴祥定. 利用树轮资料重建长白山区过去气候变化. 第四纪研究, 1997, 17(1): 76-85.
- [20] 崔明星,何兴元,陈玮,陈振举,周长虹,吴涛. 河北木兰围场油松年轮生态学的初步研究. *应用生态学报*, 2008, 19(11): 2339-2345.
- [21] 蔡秋芳,刘禹,包光,雷莺,孙铂. 树轮记录的吕梁山地区公元1836年以来5—7月平均气温变化. *科学通报*, 2010, 55(20): 2033-2039.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32 ,No. 12 June ,2012(Semimonthly)
CONTENTS

Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China	SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, WU Tao, et al (3645)
Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland	ZHANG Quanjun, YU Xiubo, QIAN Jianxin, et al (3656)
Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City	FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, et al (3670)
Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu	YE Chun, LI Chunhua, WANG Qiuguang, et al (3681)
The concentrations distribution and composition of nitrogen and phosphor in stormwater runoff from green roofs	WANG Shumin, HE Qiang, ZHANG Junhua, et al (3691)
Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna	HE Xianjin, WU Pengfei, CUI Liwei, et al (3701)
Investigation of populations of parasitic wasps parasitizing <i>Carposina sasakii</i> Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) in jujube orchards in China, with respect to the wasp-host relationship	YAO Yanxia, ZHAO Wenxia, CHANG Jupu, et al (3714)
Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model	ZOU Lili, CHEN Xiaoxiang, HE Ying, et al (3722)
Combined effects of temperature, salinity and pH on the clearance rate of juveniles of <i>Pinctada martensii</i> (Dunker)	ZHU Xiaowen, WANG Hui, LIU Jin, et al (3729)
Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system	ZHAO Liping, YANG Guiming, ZHAO Tongke, et al (3737)
Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe river	ZHANG Junhua, LI Guodong, NAN Zhongren (3745)
Effects of DEM resolution and watershed subdivision on hydrological simulation in the Xingzi watershed	QIU Linjing, ZHENG Fenli, YIN Runsheng (3754)
Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis	GUO Guanhua, CHEN Yingbiao, WEI Jianbing, et al (3764)
Landscape connectivity analysis for the forest landscape restoration; a case study of Gongyi City	CHEN Jie, LIANG Guofu, DING Shengyan (3773)
Carbon footprint analysis on urban energy use: a case study of Xiamen, China	LIN Jianyi, MENG Fanxin, CUI Shenghui, et al (3782)
The ecological footprint of alpine pastures at the village-level; a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China	WANG Lucang, GAO Jing (3795)
The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu	LI Chunhua, YE Chun, ZHAO Xiaofeng, et al (3806)
The biomass of <i>Bashania fargesii</i> in giant pandas habitat in Qinling Mountains	DANG Kunliang, CHEN Junxian, SUN Feixiang, et al (3816)
Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte <i>Limonium aureum</i> (L.) Hill	YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, et al (3825)
Liana-host tree associations in the tropical montane primary forest and post-harvest forest of Bawangling, Hainan Island, China	LIU Jinxian, TAO Jianping, HE Zeet al (3834)
The response of photosynthetic characters and biomass allocation of <i>P. bournei</i> young trees to different light regimes	WANG Zhenxing, ZHU Jinmao, WANG Jian, et al (3841)
Genetic variation among populations of the endangered <i>Sinocalycanthus chinensis</i> based on morphological traits and ISSR profiles	JIN Zexin, GU Jingjing, LI Junmin (3849)
Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter	JIANG Qingbiao, ZHAO Xiupei, GAO Lushuang, et al (3859)
Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant <i>Alcimandra cathcartii</i>	YUAN Chunning, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al (3866)
The water consumption and water use efficiency of the seedlings of <i>Eucalyptus grandis</i> and other five tree species in Sichuan Province	HU Hongling, ZHANG Jian, WAN Xueqin, et al (3873)
Effects of leaf litter of <i>Cinnamomum septentrionale</i> on growth and resistance physiology of <i>Brassica rapa</i> in the decomposition process of litter	HUANG Weiwei, HU Tingxing, ZHANG Niannian, et al (3883)
Water transport velocity and efficiency in <i>Quercus variabilis</i> detected with deuterium tracer and thermal dissipation technique	SUN Shoujia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3892)
The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification	ZHANG Xianqiang, ZENG Jianjun, CHEN Jinwu, et al (3902)
Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community	CHEN Lin, GU Jie, GAO Hua, et al (3912)
Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in <i>Eurya obtusifolia</i>	WANG Qian, DENG Hongping, DING Bo, et al (3921)
Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China	HE Qijin, ZHOU Guangsheng (3931)
Effects of uniconazole dry seed dressing on nitrogen accumulation and translocation and kernel protein quality in wheat	FAN Gaoqiong, YANG Enmian, ZHENG Ting, et al (3940)
Review and Monograph	
International comparison and policy recommendation on the development model of industrial symbiosis in China	SHI Lei, LIU Guoguo, GUO Siping (3950)
Scientific Note	
The Change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years	ZHANG Guokun, LU Jinghua, SONG Kaishan, et al (3958)
Footprint analysis of turbulent flux over a poplar plantation in Northern China	JIN Ying, ZHANG Zhiqiang, FANG Xianrui, et al (3966)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 12 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 12 (June, 2012)

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:1000717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 1000717, China

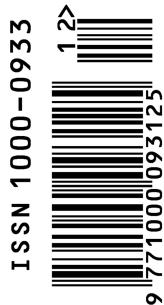
印 刷 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

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

订 购 国 外 发 行
全国各 地邮局
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
许 可 证 京海工商广字第 8013 号

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 1000717, 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 70.00 元