

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第4期 Vol.32 No.4 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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 4 期 2012 年 2 月 (半月刊)

中国科学院科学出版基金资助出版

目 次

固垦对南汇东滩湿地大型底栖动物的影响.....	马长安,徐霖林,田伟,等	(1007)
基于 ArcView-WOE 的下辽河平原地下水生态系统健康评价	孙才志,杨磊	(1016)
京郊典型集约化“农田-畜牧”生产系统氮素流动特征	侯勇,高志岭,马文奇,等	(1028)
不同辐射条件下苹果叶片净光合速率模拟.....	高照全,冯社章,张显川,等	(1037)
藏北高原典型植被样区物候变化及其对气候变化的响应.....	宋春桥,游松财,柯灵红,等	(1045)
祁连山中段林草交错带土壤水热特征及其对气象要素的响应	唐振兴,何志斌,刘鹄	(1056)
祁连山青海云杉林冠生态水文效应及其影响因素.....	田凤霞,赵传燕,冯兆东,等	(1066)
呼伦贝尔沙地樟子松年轮生长对气候变化的响应.....	尚建勋,时忠杰,高吉喜,等	(1077)
结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程.....	马井会,顾松强,陈敏,等	(1085)
福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系	田丰歌,徐兆礼	(1097)
香港巨牡蛎和长牡蛎幼虫及稚贝的表型性状.....	张跃环,王昭萍,闫喜武,等	(1105)
东海原甲藻与中肋骨条藻的种间竞争特征.....	李慧,王江涛	(1115)
起始生物量比对 3 种海洋微藻种间竞争的影响.....	魏杰,赵文,杨为东,等	(1124)
不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅.....	文世勇,宋琍琍,龙华,等	(1133)
秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应.....	陈书军,陈存根,邹伯才,等	(1142)
伊犁河谷北坡垂直分布格局及其与环境的关系——一种特殊的双峰分布格局.....	田中平,庄丽,李建贵	(1151)
濒危种四合木与其近缘种霸王水分关系参数和光合特性的比较.....	石松利,王迎春,周红兵,等	(1163)
干旱胁迫下黄土高原 4 种乡土禾草抗氧化特性	单长卷,韩蕊莲,梁宗锁	(1174)
施加角担子菌 B6 对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响	肖逸,王兴祥,王宏伟,等	(1185)
内蒙古典型草原区芨芨草群落适生境.....	张翼飞,王炜,梁存柱,等	(1193)
盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系.....	管孝艳,王少丽,高占义,等	(1202)
黄土高原水蚀风蚀交错区坡地土壤剖面饱和导水率空间异质性.....	刘春利,胡伟,贾宏福,等	(1211)
松嫩平原玉米带农田土壤氮密度时空格局.....	张春华,王宗明,居为民,等	(1220)
小麦冬性强弱评价体系的建立.....	王鹏,张春庆,陈化榜,等	(1230)
唐家河自然保护区高山姬鼠和中华姬鼠夏季生境选择的比较.....	黎运喜,张泽钧,孙宜然,等	(1241)
西花蓟马在 6 种蔬菜寄主上的实验种群生命表	曹宇,鄧军锐,孔译贤	(1249)
同位素富集-稀释法研究食性转变对鱼类不同组织 N 同位素转化率的影响	曾庆飞,谷孝鸿,毛志刚,等	(1257)
基于生态网络分析的南京主城区重要生态斑块识别.....	许文雯,孙翔,朱晓东,等	(1264)
珠三角城市绿地 CO ₂ 通量的季节特征.....	孙春健,王春林,申双和,等	(1273)
污染场地地下水渗流场模拟与评价——以柘城县为例.....	吴以中,朱沁园,刘宁,等	(1283)
专论与综述		
湿地退化研究进展.....	韩大勇,杨永兴,杨杨,等	(1293)
绿洲农田氮素积累与淋溶研究述评	杨荣,苏永中,王雪峰	(1308)
问题讨论		
抗辐射菌 <i>Deinococcus radiodurans</i> 的多样性	屠振力,方俐晶,王家刚	(1318)
平茬措施对柠条生理特征及土壤水分的影响	杨永胜,卜崇峰,高国雄	(1327)
研究简报		
祁连山典型灌丛降雨截留特征.....	刘章文,陈仁升,宋耀选,等	(1337)
野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法.....	喻梅,周守标,吴晓艳,等	(1347)



封面图说: 遗鸥群飞来——遗鸥意即“遗落之鸥”(几乎是最后才被发现的新的鸥种,因此得名)。1931年,瑞典动物学家隆伯格撰文记述在中国额济纳采到了标本。1987年,中国的鸟类学家在鄂尔多斯的桃力庙获得了一对遗鸥的标本。1990年春夏之交,发现了湖心各岛上大量的遗鸥种群。近年来的每年夏季,大约全球 90% 以上的遗鸥都会到陕西省神木县境内的沙漠淡水湖-红碱淖上聚集。遗鸥——国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201011091603

尚建勋, 时忠杰, 高吉喜, 徐丽宏, 吕世海, 冯朝阳, 王鲁秀. 呼伦贝尔沙地樟子松年轮生长对气候变化的响应. 生态学报, 2012, 32(4): 1077-1084.

Shang J X, Shi Z J, Gao J X, Xu L H, Lü S H, Feng C Y, Wang L X. Response of tree-ring width of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* to climate change in Hulunbuir sand land, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4): 1077-1084.

呼伦贝尔沙地樟子松年轮生长对气候变化的响应

尚建勋¹, 时忠杰², 高吉喜^{3,*}, 徐丽宏⁴, 吕世海⁵, 冯朝阳⁵, 王鲁秀⁶

(1. 水利部松辽水利委员会水土保持处, 长春 130021; 2. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091;

3. 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 2100421;

4. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

5. 中国环境科学研究院生态所, 北京 100012; 6 中国人民大学环境学院, 北京 100872)

摘要: 以内蒙古呼伦贝尔地区沙地樟子松为样本, 建立了樟子松树木年轮宽度年表, 应用相关分析和响应函数分析等年轮气候学方法, 研究了樟子松径向生长对气候变化的响应。结果表明, 樟子松年轮宽度与 4 月和 6—9 月平均温度呈显著负相关关系 ($P < 0.05$); 与各月降水量多呈正相关关系, 特别是与当年 5—8 月的月降水量呈显著正相关关系 ($P < 0.05$); 树轮年表与前一年 10 月至当年 10 月的 PDSI 均呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 其中与 5 月份 PDSI 的相关性最高。响应函数分析表明, 年表与当年 6—7 月的平均气温、上一年 10 月和当年 5—7 月份的降雨存在显著的相关性, 与 5—7 月份 PDSI 存在较显著的正相关性; 综合来看, 呼伦贝尔沙地樟子松生长同时受降水和温度的影响, 其径向生长与气候因子间的关系属于降水敏感型, 为区域降水重建提供了科学基础。

关键词: 呼伦贝尔; 沙地樟子松; 年轮宽度; 气候变化; 响应

Response of tree-ring width of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* to climate change in Hulunbuir sand land, China

SHANG Jianxun¹, SHI Zhongjie², GAO Jixi^{3,*}, XU Lihong⁴, LÜ Shihai⁵, FENG Chaoyang⁵, WANG Luxiu⁶

1 Songliao Water Resources Commission, Ministry of Water Resources, Changchun 130021, China

2 Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

3 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 2100421, China

4 Key Laboratory of Forest Ecological Environment, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

5 Research Institute of Ecology and Environment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

6 School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China

Abstract: In order to analyze the response of tree radial growth on the climate change in the semi-arid area, the tree-ring width chronology of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* in Hulunbuir, Inner Mongolia, including the standard chronology (STD), residual chronology (RES) and autoregressive chronology (ARS), was developed by fitting a negative exponential in this paper. According to the analysis on statistical characteristics, STD chronology showed quite well correlation between samples of different trees (correlation coefficient between trees, namely $r = 0.520$, $P < 0.01$), indicating good consistency of variance characteristics of the ring-width among different trees, and thus the climate information recorded by those

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40801017, 30700640); 环境保护公益性行业科研专项 (200809125, 200909021); 林业公益性科研专项 (201004010)

收稿日期: 2010-11-09; 修订日期: 2011-11-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gaojx@craes.org.cn

sampled trees can be regarded as reliable. The relationship between ring width and climate factors such as monthly mean precipitation and temperature from the previous October to current October was analyzed by correlation analysis and response function analysis during the observation period (1952—2008). The results indicate that the tree-ring width is negatively correlated to the monthly mean temperature, and the data shows a significant negative correlation from June to September in the current year ($P < 0.05$). The mean temperature, especially the maximum temperature from June to August may constrain tree growth indirectly due to the enhanced evapotranspiration and decreased availability of soil moisture. The tree-ring width is significantly positively correlated to the monthly precipitation from May to August in the current year ($P < 0.05$), and the highest correlation coefficient is observed between tree-ring width and the precipitation of current July ($r = 0.394$, $P < 0.05$). Low total annual precipitation is generally regarded as the main factor to constrain the growth of trees, indicating a clear physiological sense for the notable positive correlation between tree-ring width index and precipitation. There is no significant correlation between the tree-ring width and the precipitation from previous December to current April, but in general they were positively correlated. The tree-ring width chronology is significantly positively correlated with the Palmer Drought Severity Index (PDSI) from last October to current October during 1951—2005, which comprehensively reflects the effect of available soil moisture, precipitation and temperature, especially during May. The response function analysis showed that the chronology is significantly correlated with the average temperature from June to July, the amount of precipitation from May to July of the current year, and that of last October, and positively related to the PDSI from May to July. These results show that the tree-ring width of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* in Hulunbuir is affected by the temperature and precipitation in the growing seasons simultaneously, but the effect of precipitation on the tree radial growth is much greater than that of temperature on the yearly scale. In general, precipitation is a direct limiting factor to the radial growth of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* in Hulunbuir area, while the temperature is an indirect limiting factor. Namely, the radial growth of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* is more sensitive to precipitation. This study will be helpful for the precipitation and temperature reconstruction of Hulunbuir region.

Key Words: Hulunbuir; sandy *Pinus sylvestris* var. *mongolica*; tree-ring width; climate change; response

随着全球变化导致的气候异常事件的频繁发生,气候变化受到广泛关注,树木生长对气候变化的响应是全球变化研究的重要内容之一。树木年轮生长主要受树木本身的遗传特性和立地条件、气候条件与病虫害等外部环境条件的综合作用^[1]。树木年轮资料由于具有定年准确、连续性强、分辨率高等特点,已成为研究全球气候变化的重要手段之一,并得到了广泛的应用^[2-4]。树轮径向生长与气候变化的响应关系国内外已有大量的研究^[5-6],我国自 20 世纪 90 年代以来,树轮气候学发展迅速,在许多地区已经开展了树轮气候响应与重建工作,多集中在长白山^[7]、青藏高原^[8-9]、秦岭^[5]、新疆天山和阿尔泰山^[10-11]、贺兰山^[12-13]等地,在内蒙古地区树轮气候响应已有一些研究,梁尔源等^[14]重建了浑善达克沙地的变化历史,刘禹等^[13]重建了锡林浩特降水量的变化。对于樟子松树轮气候响应方面的研究,在大兴安岭北部漠河地区进行过研究^[15-16],取得了一些有意义的研究成果。在全球及区域气候变化的背景下,呼伦贝尔地区树木径向生长对气候要素变化的响应如何,这在我国东北地区西部森林-草原过渡带树木年轮对气候变化的响应研究还鲜见报道。为此,本研究以内蒙古呼伦贝尔地区沙地樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)为研究对象,建立了沙地樟子松年轮宽度年表,分析树木年轮宽度对气候要素变化的响应特征,对于探讨全球气候变化下半干旱沙地森林的响应具有重要意义,并为下一步利用树木年轮资料进行历史气候重建提供一定的数据基础,对于认识全球气候变化对森林草原过渡带的影响也具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究选取研究区位于内蒙古呼伦贝尔的森林-草原交错带上的海拉尔西山森林公园,采样点樟子松基

本特征见表 1,该地区属于典型的温带季风气候区,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,年平均温度为 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$,1月平均气温为 $-25.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最低气温可达 $-48.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,7月平均温度为 $19.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最高气温可达 $36.7\text{ }^{\circ}\text{C}$;多年平均降水量约 350 mm ,主要集中在6—8月,约占全年降雨量的70%,年蒸发量 1210 mm 左右,为降雨量的3倍多。樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)是我国最耐寒的松属针叶树种之一,主要分布在沿伊敏河、辉河两岸的固定沙丘上,该树种为阳性树种,寿命长,适应能力强,耐寒耐旱,在呼伦贝尔地区一般5月初开始生长,9月底停止生长,其土壤为松林沙土,是发育在砂质母质上的幼年土壤,砂质母质为石英粉沙。研究区的河流水系属于额尔古纳水系的海拉尔河流域。

表 1 研究区采样点概况

Table 1 Statistics description for tree-ting sampling sites

取样地点 Site	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	平均胸径/cm Mean DBH	样芯(树)数 No. of cores (Trees)
西山国家森林公园 Xishan National Forest Park	E 119°42'	N49°12'	515—669	74.7	53(26)

1.2 年表的建立

根据国际树木年轮库的标准,用生长锥采集了26棵人为干扰及虫害等自然干扰较小的沙地樟子松的53个样芯,取样高度离地面约1.3 m处,每棵树钻取2个样芯。带回实验室后经过固定、打磨、标记年轮以及测量轮宽后,对各样芯用骨架示意图^[17]进行交叉定年^[18],利用Lintab5年轮分析仪(Frank Rinn,德国)测量样芯年轮宽度,测量精度为 0.01 mm ,并用COFECHA^[19]程序检查交叉定年和量测结果,最后剔除4个由于腐朽和破碎等原因与主序列的相关性较低且奇异点过多的序列,以保证定年与测量的准确性。

采用ARSTAN软件建立研究区沙地樟子松年轮宽度指数年表。通过轮宽的标准化,采用33 a为步长的负指数法剔除与树龄有关的生长趋势(简称去趋势),并对去趋势的序列以双重平均法合成标准年表(STD);考虑到本采样点分布于具有一定郁闭度的森林公园,树与树之间的竞争可能会导致年轮宽度上的低频变化。因此,以时间序列的自回归模型在去趋势基础上进行拟合,即再次标准化,对剔除了与树龄相关的生长趋势和每株树所特有的低频波动的差值序列,以同样方法合成残差年表;并估计取样点树木群体所共有的持续性造成的生长量,并将这部分生长量加到差值年表上,建立了自回归标准化年表。

1.3 气象资料与统计分析

气象资料来源于中国气象局科学数据共享服务网提供的海拉尔气象站($N49^{\circ}13'$, $119^{\circ}45'$ E;海拔 610.2 m)的月平均气温和月降水量序列,资料时间长度为1951—2008年,该站多年平均降水量为 349.3 mm ,平均气温为 $-1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。图1为海拉尔气象站多年月平均温度和降水分布情况,可以看出降水主要集中于6—8月,7月平均气温最高($19.9\text{ }^{\circ}\text{C}$)。考虑到前一年气候状况对当年树木生长的影响^[18,20],所用气候资料的时间跨度为前一年10月至当年10月,气候要素主要包括月平均气温、月均最高温度、月均最低温度、月降水量等,此外,还采用了研究区内的一个PDSI(Palmer干旱胁迫指数)格点(51.25 N , 121.25 E)的资料(1951—2005年)^[21]。

年表与气候要素之间的响应函数分析用DendroClim2002程序计算,并检验其在0.05水平下的显著性,统计分析利用STATISTICA 6.0进行。

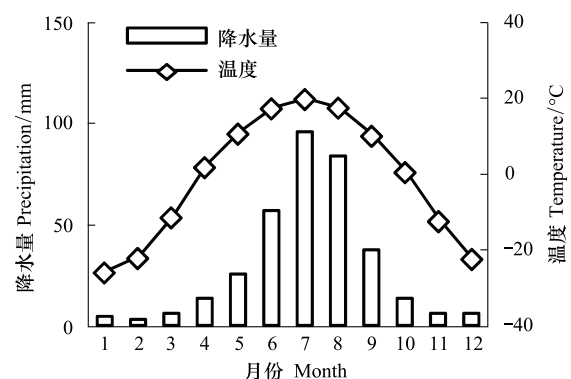


图 1 研究区内 1951—2008 年月平均温度和月降水量

Fig. 1 Mean monthly temperature and monthly precipitation during the period of 1951—2008 in the study area

2 结果与分析

2.1 樟子松年表的基本统计信息

图2为沙地樟子松标准化年表及其样本量图,年表的统计量特征可以反映树木生长的一些基本特征以及树轮年表所含不同频率信息量的多少(表2)。对樟子松年表统计特征及共同区间分析表明,STD年表各样本间具有较好的相关性(树间相关系数 $r = 0.520$, $P < 0.01$),表明不同树间样芯之间的轮宽变化有很好的一致性。一阶自相关系数为0.4077,说明树木前一年的生长状况对当年生长有一定的影响^[18],平均敏感度为0.2636,反映树木生长对地区环境变化比较敏感;年表的样本总代表性(EPs)为0.973,远大于0.85的可接受水平^[22],表明该年表能反映的理论年表的程度很高。加之本研究区樟子松年表中信噪比(SNR = 35.808)、第一主成分所解释的方差量(54.44%)都比较高,这说明本研究中采集的样本量所含的信号能代表总体特征。以上年表各种统计特征表明了样本之间的树轮宽度变化有很好的一致性,记录了可靠区域气候信息,所以本研究中的樟子松树轮宽度资料适于进行年轮气候学分析。

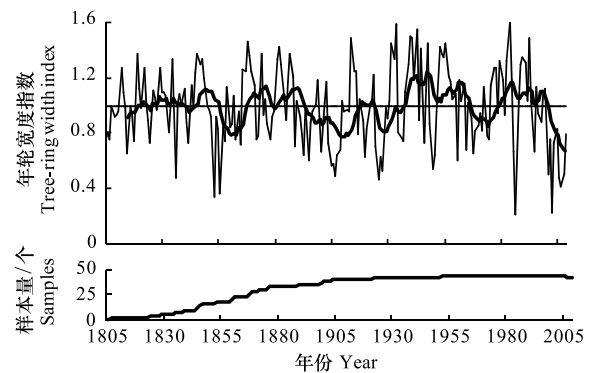


图2 樟子松年轮宽度标准化年表及样本量,黑色粗线为11a滑动平均线

Fig. 2 The tree-ring width index of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* and its samples, The thick line is a smoothed 11-year moving average spline of tree-ring index

表2 樟子松年轮宽度标准年表和差值年表统计量

Table 2 STD and RES statistics of tree-ring width index of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*

基本统计量 Basic statistics	标准年表 STD	残差年表 RES
样本量/树 Samples/trees		44/26
树间平均相关系数 Mean correlation between trees	0.520	0.566
一阶自相关 Autocorrelation order 1	0.4077	0.0676
平均敏感度 Mean sensitivity	0.2636	0.3038
平均年轮宽度 Mean tree-ring width	0.9853	0.9934
标准差 Standard deviation	0.2751	0.2502
信噪比 Signal-to-noise ratio	35.808	43.076
样本对总体的代表性 Expressing population signal	0.973	0.977
第一特征向量百分比 Variance in first eigenvector	54.44%	58.48%
共同区间段平均 Chronology common interval mean	0.982	0.988

共同区间段是指1876—2008年

2.2 树木径向生长对气温和降水的响应

树木生长与气候要素变化的关系是利用树木年轮进行气候研究的基础,主要是通过相关分析和响应函数分析的方法进行,分析过程通过DendroClim2002软件来实现^[23]。研究时段为有器测资料以来的年代(1951—2008年)。分析结果表明(图3—图4),树木径向生长与月均气温呈多负相关关系,特别是与当年4月和6—9月的平均温度呈显著的负相关关系($P < 0.05$),与2、3月和10月的平均气温呈较显著的相关关系($P < 0.1$) (图3)。

与树木径向生长对温度的响应特征相比,年表与降水量的响应关系明显增强。树木径向生长与各月降水量多呈正相关关系,特别是与当年5—8月的月降水量呈显著相关($P < 0.05$)关系,前一年10月至当年4月的降水量与年轮宽度的相关性均不显著,但多呈正相关关系(图3)。

由于进行响应函数分析时,已经排除了不同月份气候资料之间可能存在的相关关系对分析结果的影响,

从沙地樟子松标准化年表与气候因子的响应函数分析表明,年表与当年6—7月的平均气温、上一年10月和当年5—7月份的降雨存在显著的相关关系(图4)。

从相关和响应函数分析结果看,呼伦贝尔沙地樟子松树木径向生长主要受降水的制约,即对降水的响应大于对温度的响应,并且采样点处于干旱半干旱气候过渡的地区,这也符合当地情况。

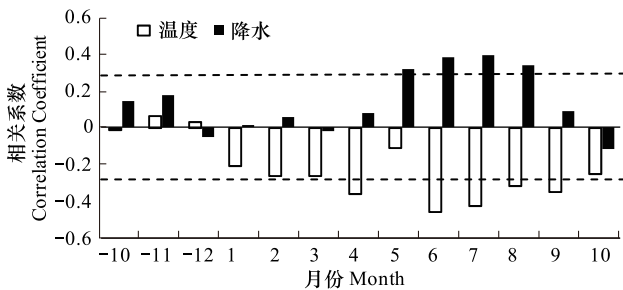


图3 樟子松年表与温度和降水的相关分析

Fig. 3 Correlation analysis of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* standard chronology with temperature and precipitation in Hulunbuir sandy land

虚线表示相关分析显著性水平线($P < 0.05$),“—”代表前一年

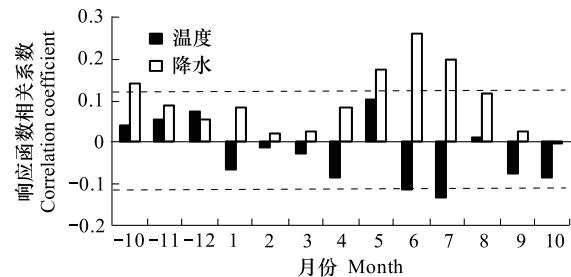


图4 沙地樟子松标准年表与气候因子响应函数分析

Fig. 4 Response function analyses of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* standard chronology with local monthly climate variables in Hulunbuir sandy land

“—”代表前一年,虚线代表气候因子对年轮指数的影响显著水平线($P < 0.05$)

2.3 树木径向生长对 PDSI 的响应

PDSI 指数不仅考虑了月平均温度、降水量与可提供的土壤水分含量的综合影响,能确定干旱的起止时间与严重程度,在干旱评估分析和干旱监测中受到广泛应用,是降水、温度和土壤水分的综合指标^[14]。标准化年表与 PDSI 的相关分析表明(图5),年表与前一年10月至当年10月的 PDSI 均呈显著正相关关系(1951—2005)($P < 0.05$),其中与5月份 PDSI 的相关性最高,相关系数达到0.632(图5)。响应函数分析表明,年表与5—7月份 PDSI 之间存在较显著的正相关关系($P < 0.1$)(图5)。

3 讨论与结论

作为影响树木生长的重要气候因子,温度和降水一直被认为是树木生长的主要限制因子。本研究发现,沙地樟子松树轮宽度与当年5—8月的降水量相关显著($P < 0.05$),但与上年10月至当年4月的降水量相关性均不显著,但多呈正相关关系,即降水量多有利于树木生长。高尚玉等^[24]研究发现,腾格里沙漠南缘油松径向生长与生长季降水量呈正反馈关系,梁尔源等^[14]研究发现内蒙古浑善达克沙地油松和白扦树轮宽度生长主要受当年2—3月和6—7月降水量的影响;杨银科等^[25]发现祁连山青海云杉树轮径向生长主要受当年

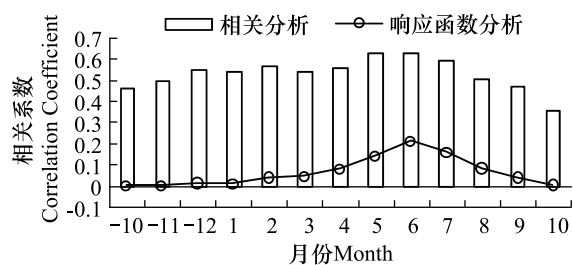


图5 樟子松年表与 PDSI 的相关与响应函数分析

Fig. 5 Correlation and response function analyses of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* standard chronology with PDSI in Hulunbuir sandy land

5—7月降水量的影响,张寒松等^[26]在中国长白山研究发现,树木径向生长主要受8—9月降水量的影响。陆小明^[27]发现,当年1月、6月和前一年12月的降水量是大兴安岭新林地区樟子松径向生长的主要限制因子。对于呼伦贝尔地区来说,樟子松的生长一般从5月开始,至9月未结束,其中5—8月为主要生长期。春季是树木开始生长的季节,春季降水多,则树木细胞分裂快,细胞数量多且体积大,有利于形成较宽的年轮,反之则制约树轮径向生长,本研究中5月份降水量的增加显著影响着树木的径向生长就是例证。研究区属于半干旱地区,其年降水量约为350 mm,其中5—8月降水量约为年降水量的74.8%,而这一时期也正是樟子松树轮径向生长最主要的时期,这个时期日照充足,树木生长所需的热量条件得到满足,降水量的多寡就成为制约树木

的生长的主要因子,可见树轮宽度指数与降水量显著正相关具有明确的生理学意义。此外,上一年如果降水充足,树体内储存的养分就多,能够为下一年的生长提供营养条件;而10月到翌年4月的降水主要以固态降水为主,春季融化后进入土壤贮存,为接下来5—9月生长期的生长提供贮备。

树轮宽度与生长季前期和生长季的月平均气温、月均最高气温和月均最低气温均呈负相关,特别是月均最高气温的升高不利于树木径向生长(图6),这与Knenk等^[28]和Rolland^[29]人的研究一致,他们认为,高温使土壤含水量减少,如降水量不能满足树木的蒸腾作用,树木只能动用体内储存的水,因而影响了翌年的生长,而生长季前期1—4月的树木生长与气温变化成负相关,这与吴祥定等^[30]在吉林长白山区的研究结果相似,他们发现树轮宽度指数与前一年10月到当年4月的气温均呈负相关,并认为这种响应关系主要是由于树木的生理过程所决定的。樟子松耐寒抗旱,但对高温的忍耐力偏低^[31],至6、7月时,温度升高致使蒸腾作用加强,导致树木生理干旱,反而会限制树木生长。朱西德等^[32]在青海柴达木东北缘的研究也表明,在降雨量稀少的地区,夏季过高的温度会抑制树木的增长。王晓春等^[15]在大兴安岭北部的漠河研究了樟子松树轮径向生长与气候要素的响应关系发现,年轮宽度与当年6月气温和前一年10月气温呈显著负相关关系,王丽丽等^[16]分析漠河樟子松年轮宽度与气候因子的关系时也发现,樟子松早材宽度与当年6月气温呈显著负相关,同时与当年8月气温显著正相关。王亚军等^[33]发现,中国西北宁夏的油松树木年轮宽度与多数月份的气温呈负相关关系,特别是与5月、7月和8月气温呈显著负相关关系。梁尔源等^[14]研究也发现,内蒙古浑善达克沙地油松和白扦树轮宽度与5—7月气温呈显著负相关关系,本研究与以上研究结果研究基本一致,此外,田沁花等^[34]对伏牛山油松树轮宽度指数与平均最高气温的响应分析表明,年表与前一年12月至当年9月的平均最高气温均呈负相关性,特别是与5—7月平均最高气温呈显著负相关性,陈振举等^[35]研究辽宁千山油松年轮宽度与温度的关系是也发现,年轮宽度指数与4—8月的平均最高气温呈负相关关系,特别是与6月份的平均最高气温显著的负相关关系。可见研究区高温,特别是月均最高气温条件下,植物蒸腾和土壤水分蒸发速度加快,温度越高越不利于地表水分的保持,土壤有效湿度降低,可能加剧本已存在的水分胁迫,从而限制树木的生长。

土壤水分亏缺是呼伦贝尔沙地树木生长的最突出的限制因子,而土壤水分又受到降水量的多少、土壤水分蒸发、树木蒸腾作用的强弱以及土壤基质理化特性等的综合影响^[14]。樟子松核心分布区位于我国大兴安岭北部地区,年降雨量在400—600 mm以上,本研究区平均350 mm的年降水量无法满足树木生长的对水分的需求,这是降水量增加能够促进树木径向生长的原因,而樟子松树木径向生长与生长季温度之间的显著负相关关系的存在,也进一步揭示了高温可通过土壤水分的蒸发和植物蒸腾作用而间接限制树木的生长^[36]。PDSI在一定程度上综合考虑降水量、大气温度和土壤有效水分等因素的综合影响,本研究中发现,年表与前一年10月至当年10月的PDSI均呈显著正相关性,而响应函数分析表明,年表与5—7月份PDSI之间存在较显著的正相关关系,这与梁尔源等^[14]在内蒙古浑善达克沙地的研究结果一致。

从前一年10月至当年10月的降水量与平均气温与树轮宽度的关系看,沙地樟子松树木生长同时受温度和降水的影响,但降水量的影响远远大于平均气温的影响(图3—图4),即树木径向生长直接受到降水量的限制作用,呼伦贝尔沙地樟子松径向生长属降水敏感型。

致谢:感谢中国科学院地理科学与资源研究所邵雪梅研究员在实验、数据处理等过程中的悉心指导,田华、徐岩在交叉定年和数据处理过程中的大力帮助,以及呼伦贝尔辉河自然保护区对本研究野外采样过程的大力支

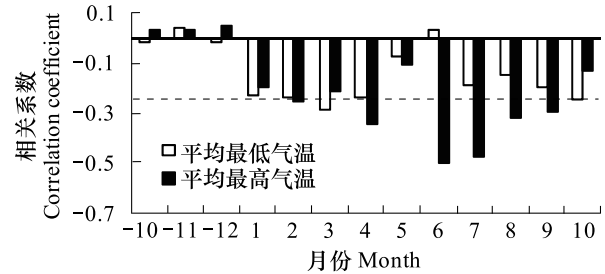


图6 月平均最高气温和最低气温与树木径向生长的相关性

Fig. 6 Correlation analysis of standard chronology with the monthly mean maximum temperature

“—”代表前一年,虚线代表气候因子对年轮指数的影响显著水平线($P < 0.05$)

持与帮助。

References:

- [1] Huang R F, Zhao Y K, Lü J X, Bao F C. Response of ring width and ring density of *Platycladus orientalis* to climate change in Beijing. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(7): 78-82.
- [2] Fritts H C. *Reconstruction Large Scale Climate Patterns from Tree Ring Data*. Tucson: The University of Arizona Press, 1991.
- [3] Hughes M K, Schweingruber F H, Cartwright D, Cartwright D, Kelly P M. July-August temperature at Edinburgh between 1721 and 1975 from tree ring density and width data. *Nature*, 1984, 308(5957): 341-344.
- [4] Liu H B, Shao X M. Reconstruction of early-spring temperature of Qinling Mountains using tree-ring chronologies. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6): 779-884.
- [5] Liu H B, Shao X M. Reconstruction of January to April mean temperature at Qinling Mts from 1789 to 1992 using tree ring chronologies. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2003, 14(2): 188-196.
- [6] Zheng S X, Shanguan Z P. Study on relationship between tree-ring and climatic change. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(6): 100-107.
- [7] 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.
- [8] Shao X M, Huang L, Liu H B, Liang E Y, Fang X Q, Wang L L. Reconstruction of precipitation variation from tree rings in recent 1000 years in Delingha, Qinghai. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2005, 48(7): 939-949.
- [9] Li Z S, Liu G H, Zhang Q B, Hu C J, Luo S Z, Liu X L, He F. Tree ring reconstruction of summer temperature variations over the past 159 years in Wolong National Natural Reserve, western Sichuan, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(6): 628-641.
- [10] Shang H M, Wei W S, Yuan Y J, Yu S L, Zhang T W, Waheti Aizemaiti, Li X J. Response of tree ring width to recent climate change, south slope of Altai Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(9): 2246-2253.
- [11] Sang W G, Wang Y X, Su H X, Lu Z H. Response of tree-ring width to rainfall gradient along the Tianshan Mountains of northwestern China. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(19): 2954-2962.
- [12] Liu Y, Shi J F, Shishov V, Vaganov E, Yang Y K, Cai Q F, Sun J Y, Wang L, Djanseitov I. Reconstruction of May-July precipitation in the north Helan Mountain, Inner Mongolia since A. D. 1726 from tree-ring late-wood widths. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(4): 405-409.
- [13] Liu Y, Cai Q F, Park W K, An Z S, Ma L M. Tree ring precipitation records from Baiyinnaobao, Inner Mongolia, China since AD 1838. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(9).
- [14] Liang E Y, Shao X M, Liu H Y, Dieter E. Tree-ring based PDSI reconstruction since AD 1842 in the Ortindag Sand Land, east Inner Mongolia. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(19): 2715-2721.
- [15] Wang X C, Song L P, Zhang Y D. Climate-tree growth relationships of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* in the northern Daxing'an Mountains, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(3): 294-302.
- [16] Wang L L, Shao X M, Huang L, Liang E Y. Tree-ring characteristics of *Larix gmelinii* and *Pinus sylvestris* var. *mongolica* and their response to climate in Mohe, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3): 380-385.
- [17] Stokes M A, Smiley T L. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. Chicago: University of Chicago Press, 1968.
- [18] Fritts H C. *Tree Rings and Climate*. New York: Academic Press, 1976.
- [19] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 1983, 43: 69-78.
- [20] Schweingruber F H. *Tree Rings and Environment Dendroecology*. Berne: Paul Haupt Verlag, 1996.
- [21] Dai A, Trenberth K E, Qian T. A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870—2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 5: 1117-1130.
- [22] Wu X D. *Tree ring and Climate Change*. Beijing: Meteorological Press, 1990.
- [23] Biondi F, Waikul K. DENDROCLIM2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers and Geosciences*, 2004, 30(3): 303-311.
- [24] Gao S Y, Lu R J, Qiang M R, Eerdun H S, Zhang D S, Chen Y, Xia H. Reconstruction of precipitation in the last 140 years from tree ring at south margin of the Tengger Desert, China. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(3): 2487-2492.
- [25] Yang Y K, Liu Y, Cai Q F, Ma H Z, Ma L M, Guo J W. Precipitation reconstruction from tree ring width over the central Qilian Mountains for the last 248 years. *Marine geology Quaternary Geology*, 2005, 25(3): 113-118.
- [26] Zhang H S, Han S J, Li Y W, Zhang J H. Reconstruction of temporal variations of precipitation in Changbai Mountains area over past 240 years by using tree-ring width data. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(12): 1924-1929.
- [27] Lu X M. *Ring Width Chronologies of Scotts Pine in Xinlin of Daxing'an Mountains and Their Potential for Dry-Wet Change: A Case Study at Xinlin of Daxing'an Mountains* [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2007.
- [28] Mäkinen H, Nöjd P, Mielikäinen K. Climatic signal in annual growth variation in damaged and healthy stands of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in south Finland. *Trees*, 2001, 15(3): 177-185.
- [29] Rolland C. Tree-ring and climate relationships for *Abies alba* in the internal Alps. *Tree-Ring Bulletin*, 1993, 53: 1-11.

- [30] Wu X D, Shao X M. A preliminary study on impact of climate change on tree growth using tree ring-width data. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51: 92-101.
- [31] 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.
- [32] Zhu X D, Wang Z Y, Li L, Qin N S, Wang Q C. Summer temperature in Northeast of Qaidam Basin retrieved from tree-ring chronology. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(2): 256-260.
- [33] Wang Y J, Gao S Y, Ma Y Z, Lu R J, Sang Y L, Meng H W. Annual precipitation variation reconstructed by tree-ring width since A. D. 1899 in the west part of Hedong sandy area of Ningxia. *Arid Land Geography*, 2010, 33(3): 377-384.
- [34] Chen Z J, Sun Y, He X Y, Chen W, Shao X M, Zhang H Y, Wang Z Y, Liu X Y. Chinese pine tree ring width chronology and its relations to climatic conditions in Qianshan Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(10): 2191-2201.
- [35] Tian Q H, Liu Y, Cai Q F, Bao G, Wang W P, Xue W L, Zhu W J, Song H M, Lei Y. The maximum temperature of May-July inferred from tree-ring in Funiu Mountain since 1874 AD. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(7): 879-887.
- [36] Liang E Y, Shao X M, Hu Y X, Lin J X. Dendroclimatic evaluation of climate-growth relationships of Meyer spruce (*Picea meyeri*) on a sandy substrate in semi-arid Grassland, North China. *Trees-Structure and Function*, 2001, 15(4): 230-235.

参考文献:

- [1] 黄荣凤, 赵有科, 吕建雄, 鲍甫成. 侧柏年轮宽度和年轮密度对气候变化的响应. *林业科学*, 2006, 42(7): 78-82.
- [4] 刘洪滨, 邵雪梅. 利用树轮重建秦岭地区历史时期初春温度变化. *地理学报*, 2003, 58(6): 779-884.
- [5] 刘洪滨, 邵雪梅. 秦岭南坡佛坪 1789 年以来 1—4 月平均温度重建. *应用气象学报*, 2003, 14(2): 188-196.
- [6] 郑淑霞, 上官周平. 树木年轮与气候变化关系研究. *林业科学*, 2006, 42(6): 100-107.
- [7] 于大炮, 王顺忠, 唐立娜, 代立民, 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.
- [8] 邵雪梅, 黄磊, 刘洪滨, 梁尔源, 方修琦, 王丽丽. 树轮记录的青海德令哈地区千年降水变化. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2004, 34(2): 145-153.
- [9] 李宗善, 刘国华, 张齐兵, 胡婵娟, 罗淑政, 刘兴良, 何飞. 利用树木年轮宽度资料重建川西卧龙地区过去 159 年夏季温度的变化. *植物生态学报*, 2010, 34(6): 628-641.
- [10] 尚华明, 魏文寿, 袁玉江, 喻树龙, 张同文, 瓦合提·艾则买提, 李新建. 阿尔泰山南坡树轮宽度对气候变暖的响应. *生态学报*, 2010, 30(9): 2246-2253.
- [11] 桑卫国, 王云霞, 苏宏新, 陆兆华. 天山云杉树轮宽度对梯度水分分子的响应. *科学通报*, 2007, 52(19): 2292-2298.
- [12] 刘禹, 史江峰, Shishov V, Vaganov E, 杨银科, 蔡秋芳, 孙军艳, 王雷, Djanseitov I. 以树轮晚材宽度重建公元 1726 年以来贺兰山北部 5—7 月降水量. *科学通报*, 2004, 49(3): 265-269.
- [13] 刘禹, 蔡秋芳, Park W K, 安芷生, 马利民. 内蒙古锡林浩特白音敖包 1838 年以来树轮降水记录. *科学通报*, 2003, 48(9).
- [14] 梁尔源, 邵雪梅, 刘鸿雁, Dieter E. 树轮所记录的公元 1842 年以来内蒙古东部浑善达克沙地 PDSI 的变化. *科学通报*, 2007, 52(14): 1694-1699.
- [15] 王晓春, 宋来萍, 张远东. 大兴安岭北部樟子松树木生长与气候因子的关系. *植物生态学报*, 2011, 35(3): 294-302.
- [16] 王丽丽, 邵雪梅, 黄磊, 梁尔源. 黑龙江漠河兴安落叶松与樟子松树轮生长特性及其对气候的响应. *植物生态学报*, 2005, 29(3): 380-385.
- [22] 吴祥定. 树木年轮与气候变化. 北京: 气象出版社, 1990.
- [24] 高尚玉, 鲁瑞洁, 强明瑞, 哈斯, 张登山, 陈原, 夏虹. 140 年来腾格里沙漠南缘树木年轮记录的降水量变化. *科学通报*, 2006, 51(3): 326-331.
- [25] 杨银科, 刘禹, 蔡秋芳, 马海洲, 马利民, 郭建卫. 以树木年轮宽度资料重建祁连山中部地区过去 248 年来的降水量. *海洋地质与第四纪地质*, 2005, 25(3): 113-118.
- [26] 张寒松, 韩士杰, 李玉文, 张军辉. 利用树木年轮宽度资料重建长白山地区 240 年来降水量的变化. *生态学杂志*, 2007, 26(12): 1924-1929.
- [27] 陆小明. 樟子松树轮宽度年表及其干湿指示意义研究——以大兴安岭新林地区为例 [D]. 南京: 南京师范大学, 2007.
- [30] 吴祥定, 邵雪梅. 采用树轮宽度资料分析气候变化对树木生长量影响的尝试. *地理学报*, 1996, 51: 92-101.
- [32] 朱西德, 王振宇, 李林, 秦宁生, 汪青春. 树木年轮指示的柴达木东北缘近千年夏季气温变化. *地理科学*, 2007, 27(2): 256-260.
- [34] 陈振举, 孙雨, 何兴元, 陈玮, 邵雪梅, 张华宇, 王忠钰, 刘筱箴. 千山油松年轮宽度年表的建立及其与气候的关系. *应用生态学报*, 2007, 18(10): 2191-2201.
- [35] 田沁花, 刘禹, 蔡秋芳, 包光, 王伟平, 薛文亮, 朱文杰, 宋慧明, 雷莺. 油松树轮记录的过去 134 年伏牛山 5—7 月平均最高温度. *地理学报*, 2009, 64(7): 879-887.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 4 February, 2012 (Semimonthly)
CONTENTS

The influence of a reclamation project on the macrobenthos of an East Nanhui tidal flat MA Changan, XU Linlin, TIAN Wei, et al (1007)

Ecological health assessment of groundwater in the lower Liaohe River Plain using an ArcView-WOE technique SUN Caizhi, YANG Lei (1016)

Nitrogen flows in intensive “crop-livestock” production systems typically for the peri-urban area of Beijing HOU Yong, GAO Zhiling, MA Wenqi, et al (1028)

The simulation of leaf net photosynthetic rates in different radiation in apple canopy GAO Zhaoquan, FENG Shezhang, ZHANG Xianchuan, et al (1037)

Phenological variation of typical vegetation types in northern Tibet and its response to climate changes SONG Chunqiao, YOU Songcai, KE Linghong, et al (1045)

Soil moisture and temperature characteristics of forest-grassland ecotone in middle Qilian Mountains and the responses to meteorological factors TANG Zhenxing, HE Zhibin, LIU Hu (1056)

Eco-hydrological effects of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) canopy and its influence factors in the Qilian Mountains TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (1066)

Response of tree-ring width of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* to climate change in Hulunbuir sand land, China SHANG Jianxun, SHI Zhongjie, GAO Jixi, et al (1077)

Analysis of a dust case using lidar in Shanghai MA Jinghui, GU Songqiang, CHEN Min, et al (1085)

Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses TIAN Fengge, XU Zhaoli (1097)

Phenotypic traits of both larvae and juvenile *Crasstrea hongkongensis* and *C. gigas* ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (1105)

Inter-specific competition between *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* LI Hui, WANG Jiangtao (1115)

Effects of initial biomass ratio on the interspecific competition outcome between three marine microalgae species WEI Jie, ZHAO Wen, YANG Weidong, et al (1124)

On the ecological amplitude of nitrate of *Alexandrium tamarense* at different initial phosphate concentrations in laboratory cultures WEN Shiyong, SONG Lili, LONG Hua, et al (1133)

Time lag effects and rainfall redistribution traits of the canopy of natural secondary *Pinus tabulaeformis* on precipitation in the Qinling Mountains, China CHEN Shujun, CHEN Cungen, ZOU Bocai, et al (1142)

The vertical distribution of vegetation patterns and its relationship with environment factors at the northern slope of Ili River Valley: a bimodal distribution pattern TIAN Zhongping, ZHUANG Li, LI Jianguo (1151)

Comparative analysis of water related parameters and photosynthetic characteristics in the endangered plant *Tetraena mongolica* Maxim. and the closely related *Zygophyllum xanthoxylon* (Bunge) Maxim. SHI Songli, WANG Yingchun, ZHOU Hongbing, et al (1163)

Antioxidant properties of four native grasses in Loess Plateau under drought stress SHAN Changjuan, HAN Ruilian, LIANG Zongsuo (1174)

The effects of the addition of *Ceratobasidium stevensii* B6 and its growth on the soil microflora at a continuously cropped water-melon (*Citrullus lanatus*) site in China XIAO Yi, WANG Xingxiang, WANG Hongwei, et al (1185)

Suitable habitat for the *Achnatherum splendens* community in typical steppe region of Inner Mongolia ZHANG Yifei, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1193)

Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district GUAN Xiaoyan, WANG Shaoli, GAO Zhanyi, et al (1202)

Spatial heterogeneity of soil saturated hydraulic conductivity on a slope of the wind-water erosion crisscross region on the Loess Plateau LIU Chunli, HU Wei, JIA Hongfu, et al (1211)

Spatial and temporal variations of total nitrogen density in agricultural soils of the Songnen Plain Maize Belt ZHANG Chunhua, WANG Zongming, JU Weimin, et al (1220)

The evaluation system of strength of winteriness in wheat WANG Peng, ZHANG Chunqing, CHEN Huabang, et al (1230)

A comparison of summer habitats selected by sympatric *Apodemus chevrieri* and *Apodemus draco* in Tiangjiahe Nature Reserve, China LI Yunxi, ZHANG Zejun, SUN Yiran, et al (1241)

Life tables for experimental populations of *Frankliniella occidentalis* on 6 vegetable host plants CAO Yu, ZHI Junrui, KONG Yixian (1249)

Effect of diet switch on turnover rates of tissue nitrogen stable isotopes in fish based on the enrichment-dilution approach ZENG Qingfei, GU Xiaohong, MAO Zhigang, et al (1257)

Recognition of important ecological nodes based on ecological networks analysis: A case study of urban district of Nanjing XU Wenwen, SUN Xiang, ZHU Xiaodong, et al (1264)

Seasonal characteristics of CO₂ fluxes above urban green space in the Pearl River Delta, China SUN Chunjian, WANG Chunlin, SHEN Shuanghe, et al (1273)

Simulation and evaluation of groundwater seepage in contaminated sites: case study of TuoCheng County WU Yizhong, ZHU Qinyuan, LIU Ning, LU Genfa, DAI Mingzhoet al (1283)

Review and Monograph

Recent advances in wetland degradation research HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, LI Ke (1293)

A review concerning nitrogen accumulation and leaching in agro-ecosystems of oasis YANG Rong, SU Yongzhong, WANG Xuefeng (1308)

Discussion

The diversity of the radio-resistant bacteria *Deinococcus radiodurans* TU Zhenli, FANG Lijing, WANG Jiagang (1318)

Effect of pruning measure on physiology character and soil waters of *Caragana korshinskii* YANG Yongsheng, BU Chongfeng, GAO Guoxiong (1327)

Scientific Note

Characteristics of rainfall interception for four typical shrubs in Qilian Mountain LIU Zhangwen, CHEN Rensheng, SONG Yaoxuan, et al (1337)

Dormancy break approaches and property of dormant seeds of wild *Cryptotaenia japonica* YU Mei, ZHOU Shoubiao, WU Xiaoyan, et al (1347)

《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

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 4 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 4 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	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
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	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:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@esp.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@esp.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	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