

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

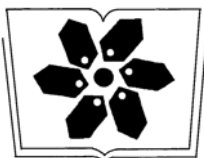
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 24 期 Vol.33 No.24 **2013**

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 33 卷 第 24 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策 赵其国, 黄国勤, 马艳芹 (7615)
- 《生态学基础》: 对生态学从传统向现代的推进——纪念 E.P. 奥德姆诞辰 100 周年
..... 包庆德, 张秀芬 (7623)
- 食物链长度理论研究进展 张 欢, 何 亮, 张培育, 等 (7630)

个体与基础生态

- 天山盘羊夏季采食地和卧息地生境选择 李 叶, 余玉群, 史 军, 等 (7644)
- 松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用 张 晓, 李秀玲, 李新岗, 等 (7651)
- 菹草附着物对营养盐浓度的响应及其与菹草衰亡的关系 魏宏农, 潘建林, 赵 凯, 等 (7661)
- 濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性 黄林芳, 李文涛, 王 珍, 等 (7667)
- 四年 O₃ 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响 吴芳芳, 郑有飞, 吴荣军, 等 (7679)
- 重金属 Cd²⁺ 和 Cu²⁺ 胁迫下泥蚶消化酶活性的变化 陈肖肖, 高业田, 吴洪喜, 等 (7690)

种群、群落和生态系统

- 不同生境中橘小实蝇种群动态及密度的差异 郑思宁 (7699)
- 亚热带樟树-马尾松混交林凋落物量及养分动态特征 李忠文, 闫文德, 郑 威, 等 (7707)

景观、区域和全球生态

- 中国陆地生态系统通量观测站点空间代表性 王绍强, 陈蝶聪, 周 蕾, 等 (7715)
- 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的耦合关系 李海东, 沈渭寿, 蔡博峰, 等 (7729)
- 高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应 张庆印, 樊 军 (7739)
- 高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化 蔡晓布, 于宝政, 彭岳林, 等 (7748)
- 芦芽山亚高山草甸、云杉林土壤有机碳、全氮含量的小尺度空间异质性
..... 武小钢, 郭晋平, 田旭平, 等 (7756)
- 湘中丘陵区不同演替阶段森林土壤活性有机碳库特征 孙伟军, 方 晰, 项文化, 等 (7765)
- 东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响 姜义亮, 郑粉莉, 王 彬, 等 (7774)
- 滇西北高原纳帕海湿地土壤氮矿化特征 解成杰, 郭雪莲, 余磊朝, 等 (7782)
- 红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价 杨尚东, 吴 俊, 谭宏伟, 等 (7788)
- 2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等 (7798)
- 庐山森林景观格局变化的长期动态模拟 梁艳艳, 周年兴, 谢慧玮, 等 (7807)

暖温带-北亚热带生态过渡区物种生境相关性分析 袁志良,陈 云,韦博良,等 (7819)

不同生境和去趋势方法下的祁连山柏径向生长对气候的响应 张瑞波,袁玉江,魏文寿,等 (7827)

资源与产业生态

大小兴安岭生态资产变化格局 马立新,覃雪波,孙 楠,等 (7838)

生态环境移动数据采集系统研究与实现 申文明,孙中平,张 雪,等 (7846)

城乡与社会生态

城市遥感生态指数的创建及其应用 徐涵秋 (7853)

研究简报

大明竹属遗传多样性 ISSR 分析及 DNA 指纹图谱研究 黄树军,陈礼光,肖永太,等 (7863)

干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和荧光特性综合评价 卢广超,许建新,薛 立,等 (7872)

基于 ITS2 和 16S rRNA 的西施舌群体遗传差异分析 孟学平,申 欣,赵娜娜,等 (7882)

两种浒苔无机碳利用对温度响应的机制 徐军田,王学文,钟志海,等 (7892)

北京山区侧柏林冠层对降雨动力学特征的影响 史 宇,余新晓,张建辉,等 (7898)

学术信息与动态

景观生态学研究:传统领域的坚守与新兴领域的探索——2013 厦门景观生态学论坛述评
..... 杨德伟,赵文武,吕一河 (7908)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说: 黄土丘陵农牧交错带——黄土丘陵是中国黄土高原的主要地貌形态,由于黄土质地疏松,加之雨季集中,降水强度较大,地表流水冲刷形成很多沟谷,斜坡所占的面积很大。这里千百年来的农牧交错作业,地表植被和生态系统均遭受了严重的破坏。利用高精度影像对小流域景观的研究表明,这里耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂。农牧交错带小流域景观形态具有分形特征,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随粒度的增大呈非线性下降趋势。

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

DOI: 10.5846/stxb201306121676

张瑞波, 袁玉江, 魏文寿, 邵雪梅, 喻树龙, 陈峰, 张同文, 尚华明, 范子昂. 不同生境和去趋势方法下的祁连圆柏径向生长对气候的响应. 生态学报, 2013, 33(24): 7827-7837.

Zhang Ruibo¹, Yuan Yujiang^{1,*}, Wei W S, Shao X M, Yu S L, Chen F, Zhang T W, Shang H M, Fan Z A. Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7827-7837.

不同生境和去趋势方法下的祁连圆柏径向生长对气候的响应

张瑞波¹, 袁玉江^{1,*}, 魏文寿¹, 邵雪梅², 喻树龙¹, 陈峰¹,
张同文¹, 尚华明¹, 范子昂¹

(1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆树轮生态重点实验室, 中国气象局树木年轮理化研究重点开放实验室, 乌鲁木齐 830002;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 利用青海不同生境祁连圆柏树木年轮样本, 采用 3 种不同去趋势方法建立树轮年表, 结合青海 30 个气象站的气象资料, 分析不同生境和去趋势方法下祁连圆柏径向生长对气候的响应差异。结果表明, 祁连山区, 生长季前期的平均气温是祁连圆柏树木径向生长的主要限制性因子, NEP 树轮标准化宽度年表与生长季前期冬季平均气温相关最好; 在柴达木盆地, 生长季降水量是该地区树木径向生长的限制性因子, SPL 树轮年表对生长季降水量相关较好; 在青南高原, 祁连圆柏径向生长对春季温度响应最为敏感, 而 SPL 年表与春季温度呈现明显的负相关关系, 相关系数达-0.606; 而在青海东部地区, 祁连圆柏树木径向生长对气候的响应总体不显著。位于青海西部和北部的柴达木盆地和祁连山区祁连圆柏径向生长受西风气候的影响显著, 尤其是柴达木盆地, 其气候受西风主导; 而青南高原受西南季风影响更为显著, 该地区祁连圆柏径向生长同时受西南季风气候和海拔高度两方面影响; 在青海东部, 祁连圆柏径向生长受东亚季风影响更为显著。

关键词: 树木年轮; 祁连圆柏; 去趋势方法; 气候响应

Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province

ZHANG Ruibo¹, YUAN Yujiang^{1,*}, WEI Wenshou¹, SHAO Xuemei², YU Shulong¹, CHEN Feng¹, ZHANG Tongwen¹, SHANG Huaming¹, FAN Zi'ang

¹ Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration; Key Laboratory of Tree-ring Physical and Chemical Research of China Meteorological Administration; Key Laboratory of Tree-ring Ecology of Xinjiang Uigur Autonomous Region, Urumqi 830002, China

² Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: In this paper, more Qilian juniper (*Sabina przewalskii* Kom.) tree ring samples in 12 sites from different ecological environment in Qinghai Province are collected, and the 12 tree ring chronologies are developed using three different detrending methods, contain spline function detrending method (SPL), negative exponential fitting detrending method (NEP) and regional curve detrending method (RCS). Combined temperature and precipitation data from 30 Meteorological stations in Qinghai, the Qilian juniper radial growth responses to climate in the different ecological environment and detrending method were analyzed using correlation function and the response function method. The results

基金项目: 科技部公益性行业 (气象) 科研专项资助项目 (GYHY201106013, GYHY201206014); 国家自然科学基金资助项目 (41275120, 41205124, 41205070); 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2010CB951001)

收稿日期: 2013-06-12; **修订日期:** 2013-09-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Yuanyuj5502@sina.com

showed that the average temperature before trees growing season is a major limiting factor on Qilian Mountains, and there have a good correlation between the NEP tree-ring width chronologies and the average temperature in last winter. In the Qaidam Basin, The precipitation in growing season is the limiting factor for tree radial growth, there have a better correlation between the SPL tree-ring width chronologies and the precipitation. On the southern Qinghai, the Qilian juniper radial growth response to average temperature in May, there is most sensitive, while the SPL tree-ring width chronologies and temperature in May showed a significant negative correlation, and the correlation coefficient exceed -0.606 . In the eastern region of Qinghai, Qilian juniper tree radial growth response to climate generally not sensitive.

There have a good correlation between Qilian juniper radial growth and North Atlantic Oscillation Index (NAO) / Arctic Oscillation Index (AO) in Qaidam Basin, and there also have some relationship on Qilian Mountains. There have a good correlation between Qilian juniper radial growth and India-Burma trough Index (IBT) on southern Qinghai Plateau, and tree-ring chronologies correlates better with the Pacific Decadal Oscillation (PDO) in the eastern region of Qinghai. The results showed that the tree-ring chronologies significantly affected by the westerly climate in Qaidam Basin and Qilian Mountains, and the Indian monsoon dominate to Qilian juniper radial growth on southern Qinghai Plateau. In the eastern Qinghai, Qilian juniper radial growth affected by the East Asian monsoon.

Key Words: Tree-ring; Qilian juniper (*Sabina przewalskii* Kom.); Detrending method; Response to climate

20 世纪气候变暖的归因是当前全球关注的焦点之一,而解决这一问题的途径之一是对过去千年的气候变化历史进行精确重建^[1]。树木年轮由于具有空间分布广、时间序列长、分辨率高、定年准确、环境变化指示意义明确且可定量等优势而成为研究过去气候变化的首选代用资料之一,在揭示气候变化规律及机理研究中发挥了重要作用^[2]。生长于气候环境恶劣的青藏高原及周边的祁连圆柏树龄可达到千年以上,一直以来,该地区都是树轮气候学研究的热土,近些年,大量的基于祁连圆柏树轮宽度的过去百年甚至千年气候水文变化研究越来越多^[3-21]。青海受海拔、地形、纬度、远离海洋的地理位置、大气环流形式等因素相互作用的影响,形成了独具特色的高原大陆性气候特征,同时是我国西北干旱区的干旱中心,是西部干旱区、东部季风区和青藏高原区三大区域的交汇地带,是全球变化的敏感区和生态系统脆弱区^[1]。

树木径向生长受到树木自身遗传因子和环境因子的共同影响^[22],气候因子可影响树木的生理过程^[23-24],使得树种呈现出独特的径向生长趋势^[25-27]。通过树轮数据建立径向生长与气候因子的关系,可以很好地反映出种群生存的环境和种群自身的不同气候响应机制^[28-29]。青海环境和下垫面复杂,不同生境下树木径向生长对气候的响应有何差异?不同去趋势方法适用于不同气候和环境中,不同去趋势方法对气候响应有何差异?这些在重建青海过去气候变化研究中至关重要,但是以往研究较少。

本研究计划针对采自不同地理单元(祁连山区、青南高原、柴达木盆地和青海东部),运用不同去趋势方法(负指数函数、样条函数和区域曲线标准化方法)分析祁连圆柏树木径向生长对气候的响应。为进一步揭示青海省不同区域气候变化规律,研究青藏高原及周边地区生态环境的演变提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 自然地理简况

青海省面积 $7.2 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占青藏高原面积的 $1/3$, 是长江黄河的发源地, 幅员辽阔, 地形和气候复杂, 整个青海大的地理单元包括北部的祁连山区、西北部的柴达木盆地、南部的青南高原和青海东部地区。由于其下垫面地形复杂, 海拔差异巨大, 气候差异巨大, 青海东部平均海拔 2500 m 以下, 年均温 $3-9^\circ\text{C}$, 为全省的暖区; 西北部的柴达木盆地、共和盆地等, 平均海拔 3000 m 左右, 年均温 $2-5^\circ\text{C}$, 为全省次暖区; 海拔 4700 m 以上的青南高原可可西里、东昆仑山地、祁连山地等, 年均温 $-4--6^\circ\text{C}$ 以下, 为全省冷区。降水量方面, 全省年降水量为 $17.6-764.4 \text{ mm}$, 除省东南部降水较多外, 全省约 $1/3$ 面积降水量在 400 mm 左右, 柴达木盆地大部分地区降水量仅有 $25-50 \text{ mm}$, 成为我国最干旱地区之一^[30]。

1.2 气象资料的选取

气象资料和各种指数数据来自中国气象科学数据共享服务网: <http://cdc.cma.gov.cn/>, 由于用于研究气候变化的资料不仅要有足够的序列长度, 还应有足够的精确度, 青海多数气象台站建立于 20 世纪 50 年代中后期, 建站至 1960 年, 不少台站存在较多的缺测、漏测和观测中断现象, 根据均一性、代表性和比较性原则, 因此本文选定青海省内 30 个站作为代表站, 其中祁连山区 3 站分别为托勒、野牛沟、祁连气象站; 柴达木盆地 9 站分别为茫崖、冷湖、大柴旦、德令哈、格尔木、诺木洪、茶卡、都兰、小灶火气象站; 青南高原 10 站分别为五道梁、沱沱河、杂多、曲麻莱、玉树、玛多、清水河、达日、久治、囊谦气象站; 青海东部 8 站分别为门源、西宁、贵州、民和、同仁、同德、泽库、河南气象站, 取各站 1961—2009 年的月平均气温和降水量资料, 并采用 Mann-Kendall 方法, 来检查站址迁移是否引起观测资料的不连续。另外, 选取 1873—2008 年的北大西洋涛动指数 (NAO) 和北极涛动指数 (AO)、1900—1998 年的太平洋涛动指数 (PDO) 和 1951—2008 年的印缅槽指数 (IBT) 来寻找树轮对气候响应差异可能的影响机制。

1.3 树轮宽度年表数据

根据青海祁连圆柏的分布和区域代表性, 研究组分别于 2007 年和 2009 年两次在青海柴达木盆地、祁连山、青南高原和青海东部共采集了 17 个采样点 676 棵树 1367 个祁连圆柏样芯, 采样点海拔在 3000—4300m 之间, 采样点分布于青海不同地理单元, 如柴达木盆地 (QRG、DUL、BSS、ELS、KKS)、青南高原 (ASS、ASX)、祁连山地区 (DLG、QYG)、青海东部 (HBX、MAX、SIG) (图 1, 表 1)。

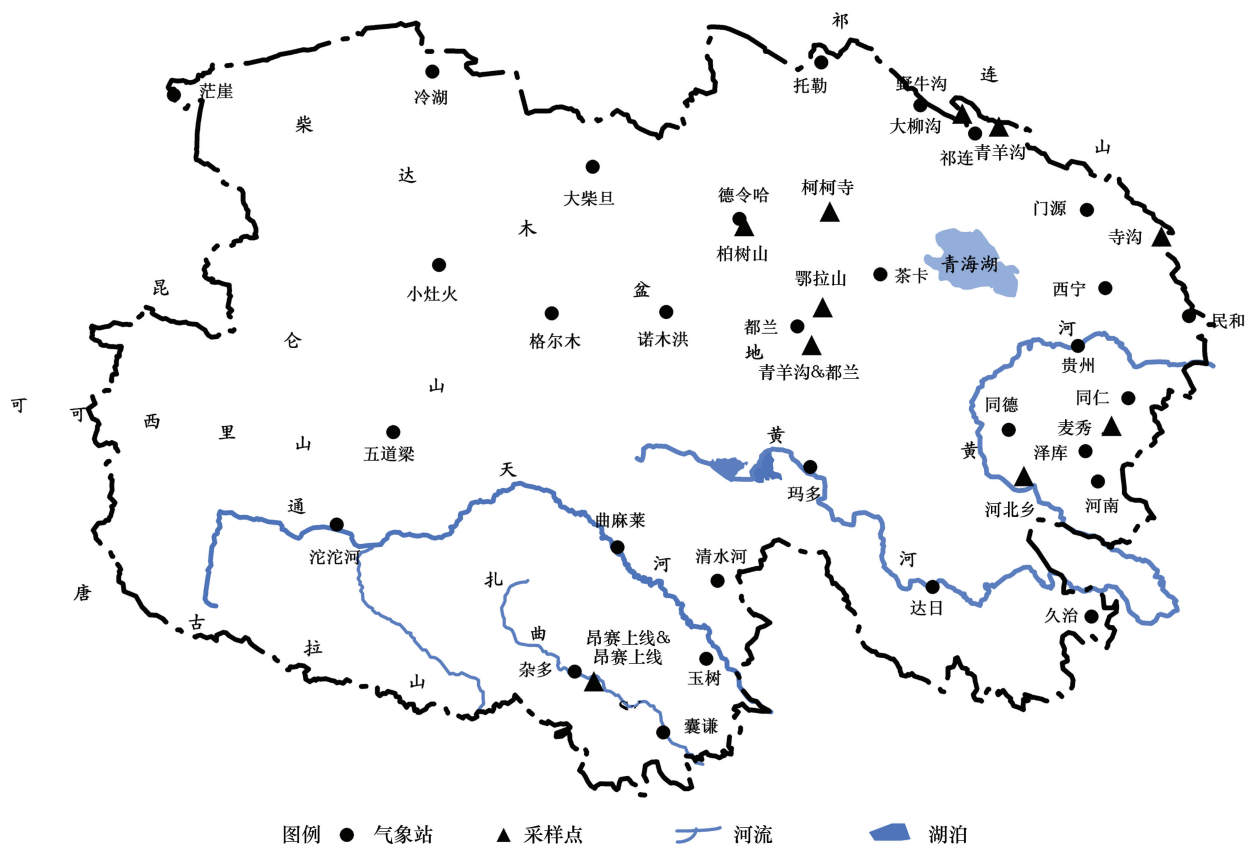


图 1 青海气象站点和树轮采样点分布示意图

Fig.1 Meteorological stations and tree-ring sample sites in Qinghai

1.4 研究方法

将采集的树轮样本经过标准的树轮年表研制过程, 对树轮样本经过干燥、固定、打磨、交叉定年, 用精度为 0.001mm 的轮宽测量仪和 MeasureJ2X 程序进行轮宽测量; 在中国科学院地理科学与资源研究所邵雪梅研究

员的指导下,利用 COFECHA 定年质量控制程序对祁连圆柏进行交叉定年的检验;采用 winARSTAN 年表研制程序完成树轮宽度年表的建立,最终建立青海 12 个树轮宽度年表。

由于青海地理单元和生境复杂,本研究考虑分别采用样条函数法(SPL)、负指数函数法(NEP)和区域曲线标准化方法(RCS)去趋势方法去除生长趋势,建立青海 12 个树轮宽度年表,试图比较 3 种去趋势方法在青海各地区的优劣,分析祁连圆柏树轮对青海不同地理单元(祁连山区、柴达木盆地、青南高原和青海东部)的气候响应。样条函数法和负指数函数应用较为广泛,它们都是拟合去掉树木本身遗传因子产生的生长趋势和树木之间干扰竞争产生的抑制和释放等的生长趋势。样条函数法是无需假定年轮样本生长趋势的变化形式,直接采用连续光滑插值方法对具有持续性生长以及种间竞争产生的非同步扰动的树木进行生长趋势拟合,因此适用于湿润地区^[31]。负指数函数适用于对生长稀疏,制约树木生长的因子单一,树木之间的竞争不明显,生长较少受到气候因子以外的其他非气候因子的影响的树种进行拟合生长趋势^[22],因此广泛应用在干旱、半干旱区。考虑树木生长随年龄变化特性的区域曲线标准化方法能够通过建立所有样芯的统计生长曲线对各样本进行去趋势,并且能很好地保留气候低频变化信息^[32-33]。该方法将样本的宽度序列按照生理年份的第 1 年对齐进行比较,从而拟合出生长曲线,进而对所有序列进行去趋势,但该方法需要大量样本且对样本年龄要求比较高。

表 1 树轮采样点和年表信息

Table 1 The information of tree-ring samples and chronologies

	采样名 Sample site	代号 Code	北纬(N) Latitude(N)	东经(E) Longitude(E)	海拔/m Altitude	起止年 Years	树芯 Samples
祁连山区	大柳沟	DLG	38°16′	100°00′	3350	1352—2008	57
QLM	青羊沟	QYG	38°10′	100°26′	3200	1512—2008	68
柴达木盆地	柏树山	BSS	37°09′	97°20′	3500	1653—2008	50
QB	鄂拉山	ELS	36°23′	98°20′	3560	1300—2008	83
	曲日岗	QRB	36°01′	98°11′	3750	853—2008	90
	柯柯寺	KKS	37°19′	98°24′	3390	1223—2008	63
	都兰	DUL	36°02′	98°13′	3724	906—2006	45
青海东部	寺沟	SIG	37°08′	102°28′	3023	1674—2006	43
EQH	麦秀	MAX	35°16′	101°53′	3214	1400—2006	37
	河北乡	HBX	34°47′	100°49′	3418	1246—2006	49
青南高原	昂赛上线	ASS	32°42′	95°37′	4249	1464—2006	61
SQP	昂赛下线	ASX	32°43′	95°37′	4047	1600—2006	42

利用区域平均法将地处同一生境的年表合成区域年表,分别为 QRG、DUL、BSS、ELS、KKS 合成柴达木盆地区域年表(QB),ASS、ASX 合成青南高原区域年表(SQP)、DLG、QYG 合成祁连山区年表(QLM),HBX、MAX、SIG 青海东部区域年表(EQH)。利用 4 个区域年表来分析不同生境和不同去趋势方法的树轮年表对气候的响应差异。同样,利用区域平均法得到区域温度和降水序列,序列代号与年表的各区域代号相同;采用相关函数法分析树轮对气候的响应;采用低通滤波方法提取年轮指数的低频变化。

2 结果与分析

2.1 不同生境树轮年表的差异

利用样条函数建立的青海各地区标准化祁连圆柏树轮年表分析表明,青海地区树轮年表因地域分布而表现出较大差异,柴达木盆地 5 个年表之间的相关系数均在 0.500 以上($n>300$),而与其他 7 个年表的相关系数小于 0.400,青南高原两个年表之间相关为 0.543,但与其他 10 个年表的相关小于 0.300,甚至大部分年表相关未达到 95%的显著性水平;祁连山区两个年表青羊沟和大柳沟相关达到 0.602,但与其他 10 个年表相关系数

均小于 0.400;河北乡和麦秀处于青海东部,两年表相关为 0.456,与其他 10 个年表相关均小于 0.300。

不同去趋势方法在青南高原对年表质量的影响最小(表 2,图 2,图 3),3 种去趋势方法之间的相关都大于 0.970,柴达木盆地相关均在 0.950 以上,其中 RCS 年表和 NEP 年表相关高达 0.992,一致性最好,而不同去趋势方法在青海东部对年表质量影响最大,3 种去趋势方法之间的相关最大不足 0.950。

表 2 不同生境不同去趋势方法的树轮年表的相关关系

Table 2 Correlation coefficient of tree-ring chronologies in different ecological environment and detrending method

		祁连山区 QLM			柴达木盆地 QB			青南高原 SQP			青南高原 EQH	
		SPL100	NEP	RCS	SPL100	NEP	RCS	SPL100	NEP	RCS	SPL100	NEP
祁连山区	NEP	0.966										
QLM	RCS	0.940	0.935									
柴达木盆地	SPL100	0.248	0.232	0.231								
QB	NEP	0.331	0.359	0.295	0.953							
	RCS	0.315	0.342	0.272	0.956	0.992						
青南高原	SPL100	0.068	0.060	0.094	0.627	0.566	0.538					
SQP	NEP	0.144	0.157	0.146	0.645	0.623	0.598	0.981				
	RCS	0.041	0.023	0.055	0.600	0.529	0.508	0.990	0.973			
青海东部	SPL100	0.402	0.355	0.446	0.471	0.390	0.384	0.498	0.469	0.485		
EQH	NEP	0.246	0.172	0.319	0.384	0.253	0.246	0.440	0.365	0.432	0.949	
	RCS	0.377	0.349	0.421	0.468	0.386	0.383	0.467	0.450	0.470	0.933	0.912

SPL、NEP、RCS 分别代表样条函数年表、负指数年表和区域曲线年表

SPL、NEP、RCS represent spline function detrending method, negative exponential fitting detrending method and regional curve detrending method

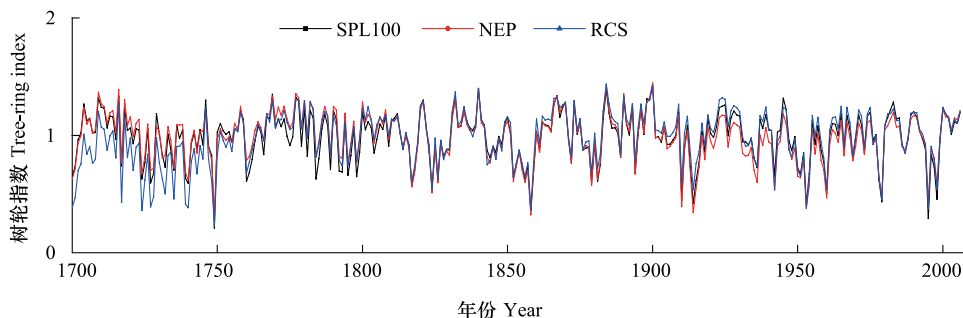


图 2 青南高原标准化年表

Fig.2 Tree-ring chronologies on southern Qinghai

SPL、NEP、RCS 分别代表样条函数年表、负指数年表和区域曲线年表

SPL、NEP、RCS represent spline function detrending method, negative exponential fitting detrending method and regional curve detrending method

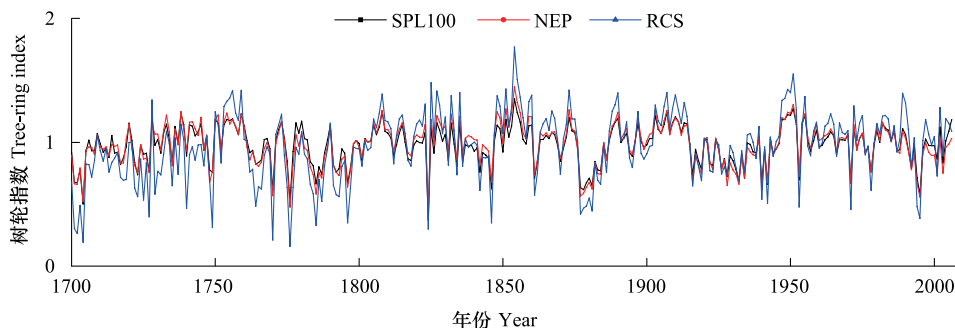


图 3 青海东部标准化年表

Fig.3 Tree-ring chronologies in eastern Qinghai

2.2 不同生境近 300 年的年轮指数变化

从 30a 低通滤波曲线来看(图 4),4 个地区低频变化趋势有所差别,近几十年来,祁连山区、柴达木盆地和青南高原年轮指数均呈明显上升趋势,这可能与我国西部气候暖湿化有关,可见气候变化对树木径向生长影响非常显著。施雅风等^[34]研究表明,我国西北地区气候区域暖湿化。青海东部年轮指数呈下降趋势,这是因为青海东部气候更为接近我国季风边缘区,部分受东亚季风影响。Wu 研究表明^[35],中国北方 28 个气象站自 1965 年以来夏季降水呈明显的下降趋势。陈晓光等分析 1961—2006 年青海不同区域气候变化表明^[36],青海东部降水量呈减少趋势,气候倾向率为 $-5.23\text{mm}/10\text{a}$;从高空水汽输送变化来看,青海东部 1961—2006 年 500hPa 相对湿度和比湿呈明显的减少趋势,因此从水汽输送的角度可以解释东部降水减少的成因。其他大部分地区降水呈增多趋势。青海不同区域均呈现显著增暖趋势,柴达木盆地增暖最为明显。

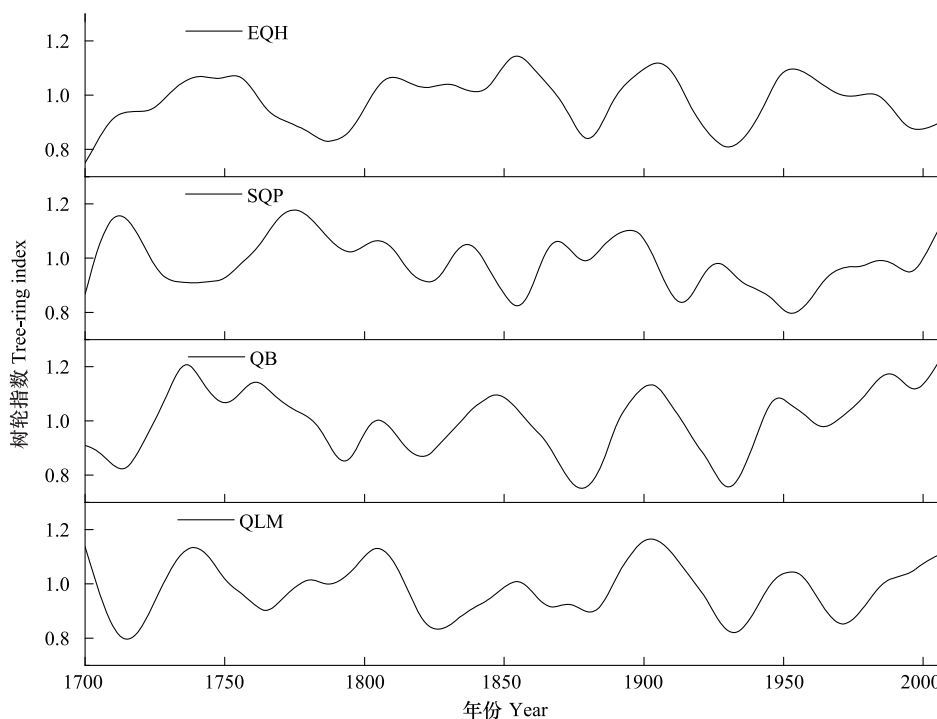


图 4 不同区域树轮指数的长期变化(30 年低通滤波)

Fig.4 The long-term changes of tree-ring index in different ecological environment (30 fixed year cutoff)

QLM、QB、SQP、EQH 分别代表祁连山区、柴达木盆地、青南高原和青海东部;

QLM、QB、SQP、EQH represent Qilian Mountains, Qaidam Basin, Southern Qinghai Plateau and Eastern Qinghai

2.3 不同去趋势方法的祁连圆柏树木径向生长对气候的响应

相关分析表明(表 3,表 4),SPL 年表与祁连山区和柴达木盆地 5 月、6 月的降水量相关最好,最高单相关 0.425,SPL 年表与青南高原 5 月平均气温相关最好,相关系数高达 -0.606 。在青南高原距离两个采样点最近的杂多地区年降水量大于 500mm,属于湿润地区,采样点森林较密,郁闭度较高,尤其是 ASX 采点郁闭度超过 0.6,因此树间竞争及扰动较为强烈,利用 SPL 去趋势方法与气候响应较好。NEP 树轮标准化宽度年表与祁连山区生长季前期冬季,生长季的 6 月、9 月平均气温正相关,最高相关系数达 0.497,对祁连山区温度的响应最为敏感;在青南高原,NEP 年表对生长季降水响应较好。RCS 年表与柴达木盆地 5 月和 6 月的降水量相关较好,RCS 年表与青海东部 4 月的降水量相关最好,达到 0.41,超过 0.01 的显著性检验。

2.4 不同生境的祁连圆柏树木径向生长对气候的响应

响应分析表明(表 3,表 4),祁连山区,树轮宽度年表与生长季前期的冬季上年 10 月、11 月、12 月和当年 1 月和 2 月温度均显著正相关,最高达 0.497,与 5 月和 6 月的降水量正相关,最高达 0.365,超过了 0.05 显著

性水平。因此,在祁连山区,上年冬季气温是限制该地区树木径向生长的主要因子。Liu 等分析祁连山中部祁连圆柏树轮对气候的响应表明^[37],平均气温是祁连山中部树轮生长的主导气候因子,上年 12 月到当年 4 月的平均气温是该地区树轮生长最重要的气候因子。Tian 等研究显示^[38],单月相关中,5 月和 6 月的降水量通过了 0.05 的显著性检验,这都与本文研究结果一致。

表 3 不同区域不同去趋势方法与单月气温的相关关系

Table 3 Correlation coefficient between tree-ring chronologies and temperature

温度相关 Correlation coefficient		L10	L11	L12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
QLM	SPL100	●	•		•	●							●
	NEP	●	•	●	•	•				●			●
	RCS	●	●		•								
QB	SPL100									○			
	NEP	●		●									
	RCS	●		●									
SQP	SPL100	●							●				
	NEP	●							●		●		
	RCS	●							●				
EQH	SPL100												
	NEP												
	RCS												

• 代表正相关,相关系数通过 0.01 的显著性检验; ● 代表正相关,相关系数通过 0.05 的显著性检验; ● 代表负相关,相关系数通过 0.01 的显著性检验; ○ 代表负相关,相关系数通过 0.05 的显著性检验

表 4 不同区域不同去趋势方法与单月降水的相关关系

Table 4 Correlation coefficient between tree-ring chronologies and precipitation

降水相关 Correlation coefficient		L10	L11	L12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
QLM	SPL100								●	●			
	NEP									●			
	RCS								●	●			
QB	SPL100		○						•	•			●
	NEP		○						●	•			○
	RCS		○						•	•			●
SQP	SPL100								●	•			
	NEP								●	•			
	RCS								●	•			
EQH	SPL100	●						•					
	NEP	●						●					
	RCS	●						•					

• 代表正相关,相关系数通过 0.01 的显著性检验; ● 代表正相关,相关系数通过 0.05 的显著性检验; ● 代表负相关,相关系数通过 0.01 的显著性检验; ○ 代表负相关,相关系数通过 0.05 的显著性检验

柴达木盆地,树轮宽度对温度的响应较弱,生长季前期平均气温与树轮宽度年表正相关,NEP 年表对生长季前期平均气温的响应最好,但最高单相关只有 0.346,仅仅通过了 0.05 的显著性检验;而树轮宽度年表对生长季降水的响应较好,生长季的 5 月和 6 月降水量均与树轮宽度年表显著正相关,均通过了 0.01 的显著性水平。因此,在柴达木盆地,生长季 5—6 月降水量是该地区树木径向生长的限制性因子。大量研究表明,柴达木盆地祁连圆柏生长主要受 5、6 月份的水分的限制^[9-12, 39-42]。

青南高原,树轮宽度对温度的响应非常敏感,其中,生长季的 5 月平均气温与树轮宽度年表显著负相关,相关系数高达-0.606;而生长季 5 月和 6 月的降水量也与树轮宽度年表有较好的正相关,最高相关 0.426;因

此,5月的平均气温是该地区树木径向生长的主导因子。秦宁生等研究青南高原树轮年表对气候的响应表明,青南高原两个树轮年表都与春季(4—6月)的气温和降水量反应敏感^[43]。Gou等在研究发现,青南高原黄河上游的3个树轮宽度年表与4—9月平均气温和平均最高气温呈显著负相关,最高相关系数达-0.67,其中,单月相关中,3个树轮宽度年表与5月平均气温相关最好,最高达-0.56。并解释为生长季初夏较高的温度导致较大蒸发量,从而导致土壤水分减少,抑制或减缓树木生长^[44]。zhu等研究发现^[45],临近青南高原的类乌齐地区树轮年表与生长季的5—6月气温相关最高,呈明显的负相关,超过0.001的极显著检验,而5—6月的降水量与树轮年表正相关,但仅仅通过了0.05的显著性检验,研究结果与本文完全一致。

青海东部,树轮宽度对气温的响应不明显,对生长季前期的降水有一定响应,但是也不是非常敏感,其中以上年10月和当年4月的响应较为敏感。

2.5 不同生境的气候背景分析

为了探讨青海地区不同生境祁连圆柏对气候响应差异的原因,本研究分别分析4个不同生境的样条函数标准化树轮宽度年表序列与北大西洋涛动指数(NAO 1873—2008)、北极涛动指数(AO 1873—2008)、太平洋涛动指数(PDO 1900—1998)和印缅槽指数关系表明(IBM 1951—2008),柴达木盆地祁连圆柏径向生长与NAO和AO均有较好的相关性(表5),祁连山区树轮年表也与NAO和AO有一定的相关性,而青南高原树轮年表与印缅槽指数相关较好,与春季印缅槽指数呈明显的负相关关系,而青海东部地区树轮与PDO相关较好。该结果表明,柴达木盆地祁连圆柏树轮径向生长受西风气候影响最为显著,而祁连山区祁连圆柏树轮径向生长也一定程度上受西风气候影响,而青南高原祁连圆柏树轮径向生长则受印度季风影响显著,青海东部祁连圆柏树轮径向生长受东亚季风影响显著。

表5 不同生境祁连圆柏树轮年表与NAO、AO、PDO和IBM的相关系数

	NAO4	NAO3-5	AO4	AO3-5	PDO4	PDO3-5	IBM4	IBM3-5
QLM.S	0.248 **	0.214 *	0.162	0.197 *	-0.164	-0.109	0.332 *	0.376 **
QB.S	0.368 **	0.275 **	0.34 **	0.265 **	-0.102	-0.095	0.068	-0.147
SQP.S	0.118	0.009	0.162	0.088	-0.124	-0.100	-0.37 **	-0.390 **
EQH.S	0.343 **	0.193 *	0.254 **	0.187 *	-0.34 **	-0.31 **	-0.077	-0.145

NAO、AO、PDO、IBM 分别代表北大西洋涛动指数、北极涛动指数、太平洋涛动指数和印缅槽指数

NAO、AO、PDO、IBM represent North Atlantic Oscillation Index, Arctic Oscillation Index, Pacific Decadal Oscillation and India-Burma trough Index

3 结论与讨论

青海位于北纬31°30—39°19',根据500hPa高空等压面分析,青海处在西风带之内,10月至翌年6月,高原面对西风环流产生分支、绕爬流、屏障等动力作用,扩大了西风带的影响范围,因此西风环流成为影响和控制青海部分地区气候的重要因子之一。另外,决定青海西部的冬春季降水分布的因子有行星西风过高原引起的扰动,以及高原本身的热力环流系统,前者比后者重要。加上青海近似东西延展的山脉与西风一致,地势顺应了气流方向,加强了西风环流系统,西风过高原时,通常在高原西部是上升运动区,因此位于青海西北部的柴达木盆地降水稀少^[46],年降水量仅仅50mm左右,而柴达木盆地海拔较低,是全省仅次于青海东部的暖区,在树木径向生长的关键期5月和6月,温度适宜,降水稀少,蒸发量大,因此降水对树木径向生长的影响要大于平均气温,降水量是该地区树木径向生长的限制性因子,这一时期,降水与树轮年表显著正相关,5月和6月较多的降水补足土壤水分不但有利于早期树轮生长,而且为干燥的秋季储存水分,有助于全年宽轮^[39-40]。

而冬春季行星西风控制青海地区,西风水汽东移南下,遇到高大的祁连山形成祁连山区的地形降水,因此,冬季祁连山区降水相对较多,而此时祁连山区温度偏低,因此,这一时期,温度是祁连圆柏径向生长的限制性因子,其一,秋冬季虽然树木的形成层停止活动,但仍然可以通过光合作用合成有机物储存于细胞内,有利于次年树木的生长,此时段的低温,会导致有机物储存减少^[31];其二,生长季前期的低温导致积雪加厚,积雪融化缓慢,林下土壤的冻结层增厚,春季土壤冻结层融化时间推后,客观上造成生长季变短,从而导致当年年

轮变窄^[47]。其三,生长在高海拔地区的树木受到冬季最低温度的威胁,虽然该时段树木已停止生长,但如果温度过低会对树木的根、茎等造成机械伤害从而影响次年的生长。袁玉江等^[48]对新疆乌鲁木齐天山北坡森林上限附近的云杉年轮研究也表明,冬季低温对云杉年轮生长具有明显的限制作用。

受印度季风影响显著的青南高原,每年南亚高压中心平均于5月22日北进到25°N,青南高原平均降水量骤增^[46]。青南高原5月降水仍然较少,此时段的平均气温偏高,会导致蒸散加剧,限制了树木的生长,故多表现为与年轮宽度的负相关。在青南高原地区,春季温度的升高和蒸发量的增大,有可能加剧本已存在的水分不足,从而限制树木的生长^[49]。

位于青海东部地区,来自于印度洋孟加拉湾和太平洋湿热气流从东南部向西北的爬行,随地势抬升作用,形成了丰沛的降雨。同时,该地区常年为青海的暖区,温度和降水都基本满足树木生长需求,因此,树木径向生长对气候的响应不明显。

致谢:中国科学院地理科学研究所王丽丽研究员参加树木年轮野外采样,特此致谢。

References:

- [1] Yang B, Shi F, Sonechkin D M, Wang Z Y, Qin C. Research progress in millennium paleoclimate reconstructions. *Journal of Desert Research*, 2011, 31(2): 485-491.
- [2] Mann M E, Bradley R S, Hughes M K. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, 1998, 392(6678): 779-787.
- [3] Yang B. Spatial and temporal patterns of climate variations over the Tibetan Plateau during the period 1300—2010. *Quaternary Sciences*, 2012, 32(1): 81-94.
- [4] Zhu H F, Zheng Y H, Shao X M, Liu X H, Xu Y, Liang E Y. Recent millennium temperature changes records by tree ring in Wulan, Qinghai. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(15): 1835-1841.
- [5] Liu Y, An Z S, Ma H Z, Cai Q F, Liu Z Y, Kutzbach J K, Shi J F, Song H M, Sun J Y, Yi L, Li Q, Yang Y K, Wang L. Precipitation variation in the northeastern Tibetan Plateau recorded by the tree rings since 850 AD and its relevance to the Northern Hemisphere temperature. *Science in China: Series D*, 2006, 49(4): 408-420.
- [6] Bräuning A. Dendrochronology for the last 1400 years in eastern Tibet. *GeoJournal*, 1994, 34(1): 75-95.
- [7] Bräuning A. Climate history of the Tibetan Plateau during the last 1000 years derived from a network of Juniper chronologies. *Dendrochronologia*, 2001, 19(1): 127-137.
- [8] Gou X H, Chen F H, Cook E, Jacoby G, Yang M X, Li J B. Streamflow variations of the Yellow river over the past 593 years in western China reconstructed from tree rings. *Water Resources Research*, 2007, 43, W06434.
- [9] Zhang Q B, Cheng G D, Yao T D, Kang X C, Huang J G. A 326-year tree-ring record of climate variability on the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(14): doi: 10.1029/2003GL017425.
- [10] Zhang Q B, Qiu H Y. A millennium-long tree-ring chronology of *Sabina przewalskii* on northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Dendrochronologia*, 2007, 24(2/3): 91-95.
- [11] Sheppard P R, Tarasov P E, Graumlich L J, Heussner K U, Wagner M, Österle H, Thompson L G. Annual precipitation since 515 BC reconstructed from living and fossil juniper growth of northeastern Qinghai Province, China. *Climate Dynamics*, 2004, 23(7/8): 869-881.
- [12] Shao X M, Wang S Z, Zhu H F, Xu Y, Liang E Y, Yin Z Y, Xu X G, Xiao Y M. A 3585-year ring-width dating chronology of Qilian Juniper from the Northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *IAWA Journal*, 2009, 30(4): 379-394.
- [13] Shao X M, Xu Y, Yin Z Y, Liang E, Zhu H, Wang S. Climatic implications of a 3585-year tree-ring width chronology from the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Quaternary Science Reviews*, 2010, 29(17/18): 2111-2122.
- [14] Yang B, Bräuning A, Johnson K R, Shi Y F. General characteristics of temperature variation in China during the last two millennia. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(9): 13-24.
- [15] Zhang Y, Gou X H, Chen F H, Tian Q H, Yang M L, Peng J F, Fang K Y. A 1232 years tree-ring record of climate variability in the Qilian Mountains, Northwestern China. *IAWA Journal*, 2009, 30(4): 407-420.
- [16] Kang X C, Graumlich L J, Sheppard, P. The last 1835 years climate changes inferred from tree ring records in Dulan region, Qinghai, China. *Quaternary Sciences*, 1997, 17(1): 70-75.
- [17] Wu X D, Lin Z Y. Climatic change during the last 2000 years in Tibet // *Proceedings of Symposium on Climatic Change*. Beijing: Science Press,

- 1981; 18-25.
- [18] Gou X H, Deng Y, Chen F H, Yang M X, Fang K Y, Gao L L, Yang T, Zhang F. Tree ring based streamflow reconstruction for the Upper Yellow River over the past 1234 years. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55 (36): 4179-4186.
- [19] Liu Y, An Z S, Linderholm H W, Chen D L, Song H M, Cai Q F, Sun J Y, Tian H. Annual temperatures during the last 2485 years in the mid-eastern Tibetan Plateau inferred from tree rings. *Science in China; Series D*, 2009, 52(3): 348-359.
- [20] Liu Y, Cai Q F, Song H M, An Z S, Linderholm H W. Amplitudes, rates, periodicities and causes of temperature variations in the past 2485 years and future trends over the central-eastern Tibetan Plateau. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(28/29): 2986-2994.
- [21] Liu Y, Cai Q F, Song H M. Seasonal and spatial representativeness of the tree-ring based 2485-year annual mean temperature reconstruction in the northeastern Tibetan Plateau. *Quaternary Sciences*, 2013, 33(1): 108-114.
- [22] Fritts H C. *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press, 1976; 1-54
- [23] Kramer K, Leinonen I, Loustau D. The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: an overview. *International Journal of Biometeorology*, 2000, 44(2): 67-75.
- [24] Kozłowski T T, Pallardy S G. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *The Botanical Review*, 2002, 68(2): 270-334.
- [25] Mäkinen H, Nöjd P, Kahle H P, Neumann U, Tveite B, Mielikäinen K, Röhle H, Spiecker H. Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *Forest Ecology and Management*, 2002, 171(3): 243-259.
- [26] Pederson N, Cook E R, Jacoby G C, Peter D M, Griffin K L. The influence of winter temperatures on the annual radial growth of six northern range margin tree species. *Dendrochronologia*, 2004, 22(1): 7-29.
- [27] Goldblum D, Rigg L S. Tree growth response to climate change at the deciduous-boreal forest ecotone, Ontario, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(11): 2709-2718.
- [28] May R M. On the theory of niche overlap. *Theoretical Population Biology*, 1974, 5(3): 297-332.
- [29] He J S, Zhang Q B, Bazzaz F A. Differential drought responses between saplings and adult trees in four co-occurring species of New England. *Trees*, 2005, 19(4): 442-450.
- [30] Zhang Z X. *Qinghai Geography*. Beijing: Science Press, 2009; 1-20.
- [31] Wu X D. *Tree Ring and Climate*. Beijing: Meteorological Press, 1990; 34-60.
- [32] Wu Z M, Huang C L, Ma Q S. Relationship between tree ring growth of *Pinus taiwanensis* and climatic factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(2): 147-150.
- [33] Xu Y, Shao X M. Standardization of Qilian Juniper ring-width series in the eastern margin of the Qaidam Basin. *Journal of Geographical Sciences*, 2007, 17(2): 175-186.
- [34] Shi Y F, Shen Y P, Kang E, Li D L, Ding Y J, Zhang G W, Hu R J. Recent and future climate change in northwest China. *Climate Change*, 2007, 80(3/4): 379-393.
- [35] Wu B Y. Weakening of Indian summer monsoon in recent decades. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2005, 22(1): 21-29.
- [36] Chen X G, Li L, Zhu X D, Wang Z Y. Regional differences of climate change in Qinghai Province and its contributing factors. *Advances in Climate Change Research*, 2009, 5(5): 249-255.
- [37] Liu X H, Qin D H, Shao X M, Chen T, Ren J W. Temperature variations recovered from tree-rings in the middle Qilian Mountain over the last millennium. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2005, 48(4): 521-529.
- [38] Tian Q H, Zhou X J, Gou X H, Zhao P, Fan Z X, Helama S. Analysis of reconstructed annual precipitation from tree-rings for the past 500 years in the middle Qilian Mountain. *Science China Earth Sciences*, 2012, 55(5): 770-778.
- [39] Shao X M, Liang E Y, Huang L, Wang L L. A reconstructed precipitation series over the past millennium in the Northeastern Qaidam Basin. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(3): 122-126.
- [40] 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*, 2005, 48(7): 939-949.
- [41] Huang J G, Zhang Q B. Tree rings and climate for the last 680 years in Wulan area of northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Climatic Change*, 2007, 80(3/4): 369-377.
- [42] Yin Z Y, Shao X M, Qin N S, Liang E Y. Reconstruction of a 1436-year soil moisture and vegetation water use history based on tree-ring widths from Qilian junipers in northeastern Qaidam Basin, northwestern China. *International Journal of Climatology*, 2008, 28(1): 37-53.
- [43] Qin N S, Shao X M, Jin L Y, Wang Q C, Zhu X D, Wang Z Y, Li J B. Climate change over southern Qinghai Plateau in the past 500 years recorded in *Sabina tibetica* tree rings. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(22): 2483-2487.

- [44] Gou X H, Chen F H, Yang M X, Jacoby G, Peng J F, Zhang Y. A comparison of tree-ring records and glacier variations over the past 700 years, northeastern Tibetan Plateau. *Annals of Glaciology*, 2006, 43(1): 86-90.
- [45] Zhu H F, Shao X M, Yin Z Y, Huang L. Early summer temperature reconstruction in the eastern Tibetan plateau since AD 1440 using tree-ring width of *Sabina tibetica*. *Theoretical and Applied Climatology*, 2011, 106(1/2): 45-53.
- [46] Wang J S, Li X F. *Weather and Climate in Qinghai*. Beijing: Meteorological Press, 2004: 17-20.
- [47] Gou X H, Chen F H, Yang M X, Gordon J, Fang K Y, Tian Q H, Zhang Y. Asymmetric Variability between maximum and minimum temperatures in northeastern Tibetan Plateau: Evidence from tree rings. *Science in China: Series D*, 2008, 51(1): 41-55.
- [48] Yuan Y J, Li J F. Reconstruction and analysis of 450 years winter temperature series in the Urumqi river source of Tianshan Mountains. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1999, 21(1): 64-70.
- [49] Qin N S, Shao X M, Shi X H, Jin L Y, Zhu X D, Wang Q C. Tree-ring chronology in Southern Qinghai and its relation to climatic element. *Plateau Meteorology*, 2003, 22(5): 445-450.

参考文献:

- [1] 杨保, 史锋, Sonechkin D M, 王章勇, 秦春. 过去千年气候变化重建研究新进展. *中国沙漠*, 2011, 31(2): 485-491.
- [3] 杨保. 树轮记录的小冰期以来青藏高原气候变化的时空特征. *第四纪研究*, 2012, 32(1): 81-94.
- [4] 朱海峰, 郑永宏, 邵雪梅, 刘晓宏, 徐岩, 梁尔源. 树木年轮记录的青海乌兰地区近千年温度变化. *科学通报*, 2008, 53(15): 1835-1841.
- [16] 康兴成, Graumlich L J, Sheppard P. 青海都兰地区 1835 年来的气候变化——来自树轮资料. *第四纪研究*, 1997, 17(1): 70-75.
- [21] 刘禹, 蔡秋芳, 宋慧明. 关于青藏高原 2485 年温度的季节和空间代表性问题. *第四纪研究*, 2013, 33(1): 108-114.
- [30] 张忠孝. *青海地理*. 北京: 科学出版社, 2009: 25-26.
- [31] 吴祥定. *树木年轮与气候变化*. 北京: 气象出版社, 1990: 34-60.
- [32] 吴泽民, 黄成林, 马青山. 黄山松年轮生长和气候的关系. *应用生态学报*, 1999, 10(2): 147-150.
- [36] 陈晓光, 李林, 朱西德, 王振宇. 青海省气候变化的区域性差异及其成因研究. *气候变化研究进展*, 2009, 5(5): 249-255.
- [39] 邵雪梅, 梁尔源, 黄磊, 王丽丽. 柴达木盆地东北部过去 1437a 的降水变化重建. *气候变化研究进展*, 2006, 2(3): 122-126.
- [40] 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*, 2004, 34(2): 145-153.
- [43] 秦宁生, 邵雪梅, 靳立亚, 汪青春, 朱西德, 王振宇, 李金豹. 青海南部高原圆柏年轮指示的近 500 年来气候变化. *科学通报*, 2003, 48(19): 2068-2072.
- [46] 王江山, 李锡福. *青海天气与气候*. 北京: 气象出版社, 2004: 17-20.
- [47] 勾晓华, 陈发虎, 杨梅学, Gordon J, 方克艳, 田沁花, 张永. 青藏高原东北部树木年轮记录揭示的最高最低温的非对称变化. *中国科学: D 辑*, 2007, 37(11): 1480-1492.
- [48] 袁王江, 李江风. 天山乌鲁木齐河源 450 冬季气温序列的重建与分析. *冰川冻土*, 1999, 21(1): 64-70.
- [49] 秦宁生, 邵雪梅, 时兴合, 靳立亚, 朱西德, 汪青春. 青南高原树轮年表的建立及与气候要素的关系. *高原气象*, 2003, 22(5): 445-450.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.24 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures ZHAO Qiguo, HUANG Guoqin, MA Yanqin (7615)
- Fundamentals of Ecology: promoting ecology from tradition to modern: To Commemorate The 100th Anniversary of E. P. Odum's Birthday BAO Qingde, ZHANG Xiufen (7623)
- Food chain length theory: a review ZHANG Huan, HE Liang, ZHANG Peiyu, et al (7630)

Autecology & Fundamentals

- Foraging and bed site selection of Tianshan argali (*Ovis ammon karelini*) in Central Tianshan Mountains in Summer LI Ye, YU Yuqun, SHI Jun, et al (7644)
- Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabulaeformis* ZHANG Xiao, LI Xiuling, LI Xingang, et al (7651)
- Response of periphyton to nutrient level and relationships between periphyton and decay degree of *Potamogeton crispus* WEI Hongnong, PAN Jianlin, ZHAO Kai, et al (7661)
- Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Notopterygii Rhizoma* Et Radix of endangered plateau plant HUANG Linfang, LI Wentao, WANG Zhen, et al (7667)
- Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O₃ WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (7679)
- Changes of digestive enzyme activity of *Tegillarca granosa* exposed to cadmium and copper CHEN Xiaoxiao, GAO Yetian, WU Hongxi, et al (7690)

Population, Community and Ecosystem

- Population dynamics and density of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in different habitats ZHENG Sining (7699)
- Litter fall production and nutrient dynamic of *Cinnamomum camphora* and *Pinus massoniana* mixed forests in subtropics China LI Zhongwen, YAN Wende, ZHENG Wei, et al (7707)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Assessing the spatial representativeness of eddy covariance flux observation stations of terrestrial ecosystems in China WANG Shaoqiang, CHEN Diecong, ZHOU Lei, et al (7715)
- The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China LI Haidong, SHEN Weishou, CAI Bofeng, et al (7729)
- Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone ZHANG Qingyin, FAN Jun (7739)
- The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe CAI Xiaobu, YU Baozheng, PENG Yuelin, et al (7748)
- Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen at small scale in subalpine meadow and *Picea meyeri* forest in Luya Mountain WU Xiaogang, GUO Jinping, TIAN Xuping, et al (7756)
- Active pools of soil organic carbon in subtropical forests at different successional stages in Central Hunan, China SUN Weijun, FANG Xi, XIANG Wenhua, et al (7765)
- The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China JIANG Yiliang, ZHENG Fenli, WANG Bin, et al (7774)
- Net nitrogen mineralization in soils of Napahai wetland in Northwest Yunnan XIE Chengjie, GUO Xuelian, YU Leichao, et al (7782)

- Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation YANG Shangdong, WU Jun, TAN Hongwei, et al (7788)
- The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010 YUAN Lihua, JIANG Weiguo, SHEN Wenming, et al (7798)
- Long-term dynamic simulation on forest landscape pattern changes in Mount Lushan LIANG Yanyan, ZHOU Nianxing, XIE Huiwei, et al (7807)
- Species habitat correlation analysis in temperate-subtropical ecological transition zone YUAN Zhiliang, CHEN Yun, WEI Boliang, et al (7819)
- Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province ZHANG Ruibo, YUAN Yujiang, WEI Wenshou, et al (7827)
- Resource and Industrial Ecology**
- The pattern of ecological capital in Daxiaoxinganling, Heilongjiang Province, China MA Lixin, QIN Xuebo, SUN Nan, et al (7838)
- Research and implementation of mobile data collection system for field survey of ecological environment SHEN Wenming, SUN Zhongping, ZHANG Xue, et al (7846)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- A remote sensing urban ecological index and its application XU Hanqiu (7853)
- Research Notes**
- Genetic diversity and DNA fingerprint of *Pleioblastus* by ISSR HUANG Shujun, CHEN Liguang, XIAO Yongtai, et al (7863)
- Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species LU Guangchao, XU Jianxin, XUE Li, et al (7872)
- Stock difference of *Coelomactra antiquata* based on nuclear (ITS2) and mitochondrial (16S rRNA) DNA sequence and secondary structure MENG Xueping, SHEN Xin, ZHAO Nana, et al (7882)
- The mechanism of the characters of inorganic carbon acquisition to temperature in two *Ulva* species XU Juntian, WANG Xuwen, ZHONG Zhihai, et al (7892)
- Research on changes of dynamic characteristics of rainfall though *Platycladus Orientalis* plantation canopy in Beijing Mountain Area SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jianhui, et al (7898)

《生态学报》2014 年征订启事

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

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

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

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

本期责任副主编 丁 平

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 33 卷 第 24 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 24 (December, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.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 90.00 元