

# 临沂市100余年银杏树木径向生长及其对气候变化的记录

李月明\*, 卢立晓, 栾艳晓, 袁冰倩, 王菲, 赵兴云<sup>#</sup>

临沂大学资源环境学院, 山东 临沂

收稿日期: 2022年2月14日; 录用日期: 2022年3月25日; 发布日期: 2022年4月2日

## 摘要

本文利用临沂市郯城县新村乡银杏树轮样芯建立了银杏树轮宽度年表, 经过对特征值的比较分析寻找更适合进行树轮气候分析的年表——树轮宽度标准化年表, 并利用了气候因子与树轮宽度之间的相关关系, 建立了气候因子与树轮宽度的函数方程, 重建了研究区1878~2017年间10月份的最高温度以及7月份的降水量, 并进行气候变化的周期分析。本研究可为了解研究区历史时期的气候变化提供基础参考数据, 并对我国东部暖温带地区树轮气候学研究提供有益补充。

## 关键词

银杏, 树木年轮, 标准化年表, 降水量, 平均最高温

# Radial Growth of Ginkgo Trees and Its Record of Climate Change over 100 Years in Linyi City

Yueming Li\*, Lixiao Lu, Yanxiao Luan, Bingqian Yuan, Fei Wang, Xingyun Zhao<sup>#</sup>

School of Resources and Environment, Linyi University, Linyi Shandong

Received: Feb. 14<sup>th</sup>, 2022; accepted: Mar. 25<sup>th</sup>, 2022; published: Apr. 2<sup>nd</sup>, 2022

## Abstract

In this paper, the Ginkgo tree wheel width chronology is established by using the Ginkgo tree wheel sample core in Xincun Township, Linyi City, and after comparative analysis of the characte-

\*第一作者。

<sup>#</sup>通讯作者。

ristic values, the chronology-tree wheel width standardized chronology is more suitable for tree wheel climate analysis. Using the correlation between climate factors and tree wheel width, the function equation between climate factor and tree wheel width was established, the highest temperature in October and July precipitation in the study area were reconstructed, and the periodic analysis of climate change was carried out. This study can provide basic reference data for understanding the historical climate change in the study area, and provide a useful supplement for the study of tree ring climatology in the eastern warm temperate zone of China.

## Keywords

Ginkgo, Tree Rings, Standardized Chronology, Precipitation, Average Maximum Temperature

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

全球气候变暖自 20 世纪以来成为人类面临的主要问题, 依据树木年轮数据记录的准确性高、连续性好的优良特性, 能够很好地反映较长时间尺度植被生长状况及其环境变化过程[1], 20 世纪 30 年代, 树木年轮学的奠基人 A. E. Douglass 建立了长达 1230 年的树轮宽度年表, 提出树轮宽度与降水量之间存在线性关系[2]。大量的树轮气候学家对树木年轮的生长过程与气候变化的关系做了深入的研究, 逐渐形成了一套比较统一的树木年轮气候学研究方法[3]。根据树轮本身所反映出的历史气候变化, 可以很好地预测未来气候变化, 以便人类应对未来气候变化做准备。

我国经过 80 余年的发展, 新的研究方法被广泛应用到年轮气候学的研究中, 树轮采样点已覆盖全国大部分地区。石钦云等[4]、秦进等[5]、苏凯等[6]、张瑞波等[7]、张芬等[8]都在树木年轮与气候重建方面做了大量研究工作。在山东鲁中南地区, 沈长泗等利用沂山油松树轮宽度研究了该地区 100 多年的湿润指数的变化[9], 刘禹等利用山东于林地区白皮松(*Pinus bungeana*)年轮宽度重建了山东于林地区过去 392 年上年 10 月到当年 9 月平均最低气温[10]; 陈峰等选取地处暖温带的山东鲁南蒙山黑松(*Pinus thunbergii*)树轮分析了在气候变暖背景下幼龄黑松树轮宽度对局地和大范围气候变化的响应过程[11]; 郑紫薇等利用黑松树轮重建了塔山地区近七十年的冬春季节的平均温度[12]。以上研究都选择以针叶树年轮为研究对象, 且研究区大多集中在临沂地区北部, 但以银杏树树轮为对象用于临沂地区南部气候变化的研究相对较少。张卫国等[13]研究了银杏树轮中的铅元素对临沂地区环境变化的指示作用。段芋竹等利用银杏树轮重建了临沂地区 1851 年以来 10 月份气温变化[14]。但上述对银杏树轮研究得出的结论较为有限。本研究以地处临郯苍平原区的郯城县为研究区, 以生长历史悠久的银杏树为研究对象, 以银杏树轮宽度为代用指标, 建立树轮宽度年表, 在综合分析银杏树轮宽度与气候要素相关性的基础上, 建立树轮宽度与主导气候因子间函数关系, 对影响银杏树木径向生长的 7 月降水量和 10 月最高气温进行了重建。本研究可为了解研究区历史时期的气候变化提供基础参考数据, 并对我国东部暖温带地区树轮气候学研究提供有益补充。

## 2. 研究区概况

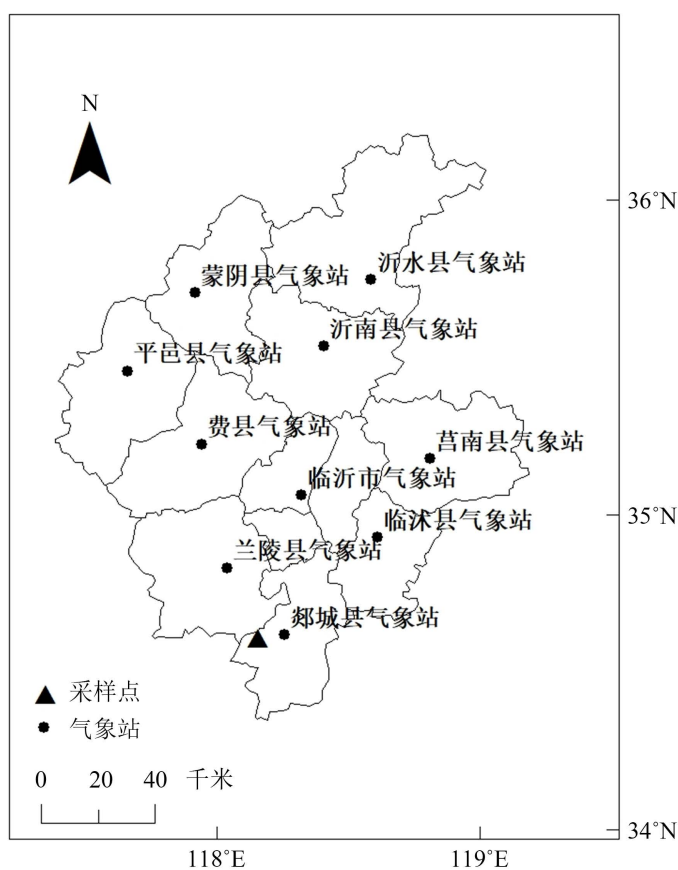
研究区位于山东省东南部, 全区地处 117°25'E~119°11'E, 34°22'N~36°12'N 之间, 总面积 1784 万 km<sup>2</sup>。区内多石质山体, 有独特的岱崮地貌和有“岱宗之亚”之称的蒙山[15]; 地势西北高东南低, 海拔一般在

400 m 以上[16]; 研究区气候属暖温带大陆性季风气候, 四季分明, 光照充足, 年总降水量 847.9 mm, 降水集中于夏季, 年均气温 13.4℃, 1 月平均气温-0.7℃, 7 月平均气温 26.4℃, 极端最高气温 38.6℃, 极端最低气温-14.0℃, 日照时数约 2100 h, 全年无霜期 200 d 以上[17]。图 1 为临沂地区气象站点位置分布图。

### 3. 资料与方法

#### 3.1. 气象资料来源、相关性分析及突变检验

本研究所用气象资料来源于距采样点最近的郯城县气象站(34°36'N、118°19'E, 海拔 36.2 m)(如图 1), 包括了 1962~2007 年共 46 年的气温和降水量数据。为了检验郯城县气象数据的代表性, 本文选取位于临沂地区中部的临沂站、东部莒南站、北部沂南站和西部费县站的气象数据, 将四个气象站数据同郯城气象站气象数据进行了对比, 进行 Pearson 相关性分析, 来检验郯城气象站记录的气温和降水量与临沂市其他地区气温和降水量的相关性所达到的置信度水平。通过检验, 上述气象站点记录的气温、降水间的相关性均达到了 99.9% 的置信度水平, 表明可以利用郯城气象站的气象资料为代表来研究临沂地区的树轮与气候要素间的关系。图 2 为郯城气象站多年年均气温与降水变化分布图。由图 2 知, 研究区气候具有明显雨热同期的特点, 气温 7 月最高, 1 月最低; 降水主要集中在夏季(6~8 月), 冬季降水(12 月~次年 2 月)降水稀少。



**Figure 1.** Meteorological station distribution map and Tancheng County tree ring sampling area

**图 1.** 临沂地区气象站点分布图和郯城县树木年轮采样点位置图

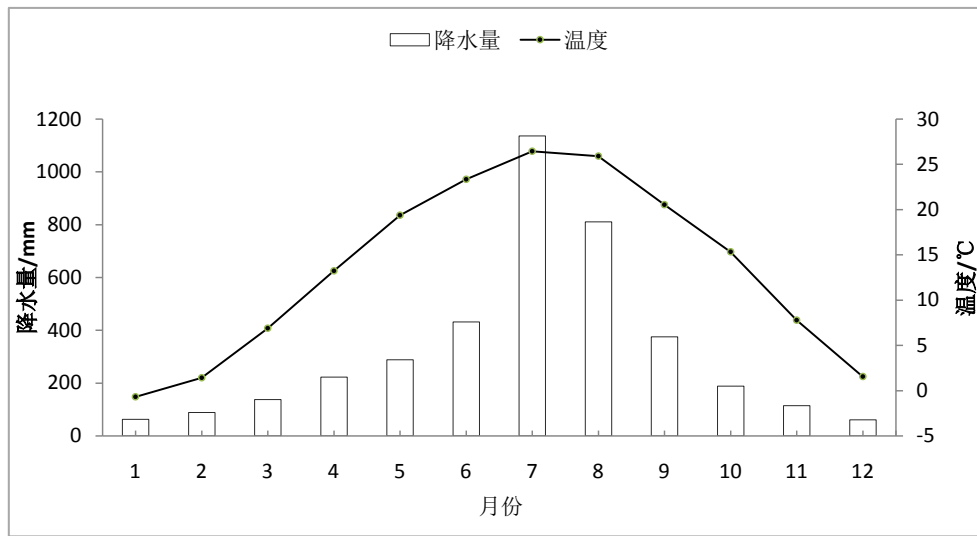


Figure 2. Tancheng Meteorological Station 1962~2007 monthly mean precipitation and monthly mean temperature distribution map

图 2. 郯城气象站 1962~2007 年月平均降水量和月平均气温分布图

采用滑动 t-检验法对郯城站气象数据进行突变检验，结果显示，郯城气象站记录的气象数据在 95% 的置信度水平上无明显突变，气象数据稳定可靠，可用来与银杏树轮宽度进行相关性研究。图 3 为郯城气象站年均气温与年总降水量突变检验结果分布图。

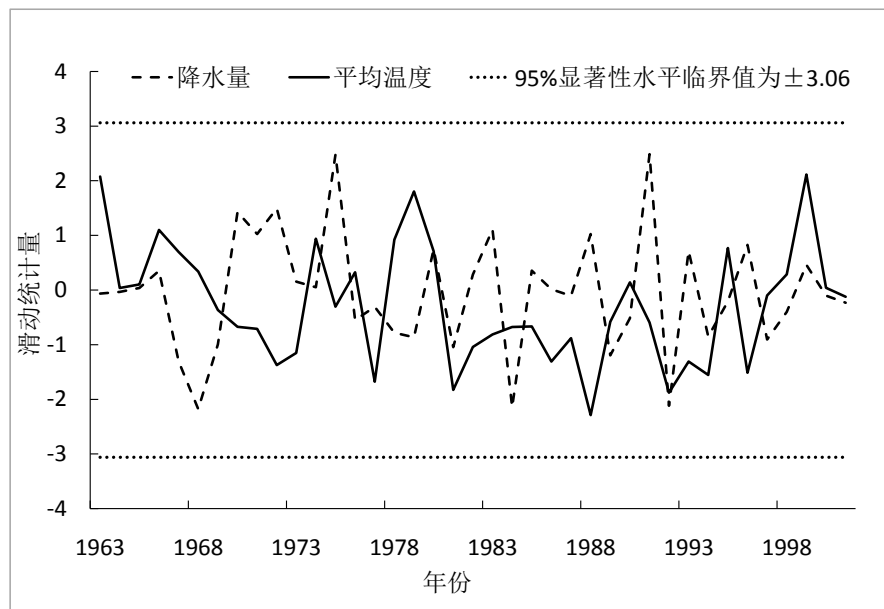


Figure 3. Sliding t-statistic curve of Tancheng precipitation and average temperature grade

图 3. 郯城气象站年总降水量和年平均温度等级滑动 t-统计量曲线

### 3.2. 树轮样本的采集与处理

本研究的样芯采集于临沂市南部郯城县新村乡的银杏树，采样点如图 1 所示，采样时选择生态环境良好，受人为干扰相对较小的立木，用直径为 5.15 mm 的生长锥在每株树南、北 2 个方位胸高处各钻取

1 个样芯，共采集 15 棵树 30 根芯，每棵样芯做好文字记录。将采集的样芯装入已编号的纸管，带回实验室。表 1 为所采样本基本信息统计表。

**Table 1.** Samples of this basic information statistics table

**表 1.** 所采样本基本信息统计表

序号	样品编号	纬度	经度	胸高(cm)	胸周(cm)	样本时段
1	TC01-N	34°34'55"N	118°8'17"E	80	154	1914~2020
2	TC02-S	34°34'55"N	118°8'17"E	85	154	1927~2020
3	TC03-N	34°34'55"N	118°8'17"E	95	157	1896~2020
4	TC04-S	34°34'55"N	118°8'17"E	94	157	1948~2020
5	TC05-N	34°34'46"N	118°8'17"E	92	164	1990~2020
6	TC06-S	34°34'46"N	118°8'17"E	110	164	1934~2020
7	TC07-N	34°34'57"N	118°8'26"E	95	144	1951~2020
8	TC08-S	34°34'57"N	118°8'26"E	125	144	1902~2020
9	TC09-N	34°34'47"N	118°8'18"E	108	163	1922~2020
10	TC10-S	34°34'47"N	118°8'18"E	110	163	1920~2020
11	TC11-N	34°34'47"N	118°8'18"E	107	135	1914~2020
12	TC12-S	34°34'47"N	118°8'18"E	99	135	1912~2020
13	TC13-N	34°34'46"N	118°8'18"E	102	120	1891~2020
14	TC14-S	34°34'46"N	118°8'18"E	95	120	1933~2020
15	TC15-N	34°34'48"N	118°8'14"E	112	143	1865~2020
16	TC16-S	34°34'48"N	118°8'14"E	100	143	1878~2020
17	TC17-N	34°34'47"N	118°8'23"E	109	144	1896~2020
18	TC18-S	34°34'47"N	118°8'23"E	86	144	1946~2020
19	TC19-N	34°34'47"N	118°8'23"E	106	173	1953~2020
20	TC20-S	34°34'47"N	118°8'23"E	102	173	1991~2020
21	TC21-N	34°34'49"N	118°8'16"E	113	173	1947~2020
22	TC22-S	34°34'49"N	118°8'16"E	100	173	1955~2020
23	TC23-N	34°34'47"N	118°8'18"E	94	140	1902~2020
24	TC24-S	34°34'47"N	118°8'18"E	122	140	1883~2020
25	TC26-S	34°34'58"N	118°8'21"E	113	140	1910~2020
26	TC27-N	34°34'58"N	118°8'21"E	96	171	1921~2020
27	TC28-S	34°34'58"N	118°8'21"E	93	171	1961~2020
28	TC29-N	34°34'47"N	118°8'18"E	104	100	2001~2020
29	TC31-N	34°34'57"N	118°8'26"E	93	85	1996~2020
30	TC32-S	34°34'57"N	118°8'26"E	85	85	1995~2020

### 3.3. 树轮宽度测定及年表建立

将取回的样芯按照树轮样本基本处理程序，进行晾干、固定、打磨[18][19]。将打磨好的样芯先进行目测定年，然后将样芯放在显微镜下进行交叉定年，利用 COFECHA 软件剔除与主序列相关性较差的年

轮序列[20]。使用 LINTAB 树轮宽度测量仪(精确到 0.01 mm)精确测量树轮宽度,并将数据保存。利用 ARSTAN 树轮年表研制程序,采用负指数函数进行拟合,去除树木自身遗传因素所产生的生长趋势,最终建立银杏树轮的标准化年表(STD)、差值年表(RES)和自回归年表(ARS) [21]。

### 3.4. 数据处理方法

本文采用 Excel 统计软件进行树轮宽度年表与气候因子的相关性分析并进行作图。

## 4. 结果与分析

### 4.1. 年表特征分析

对建立的标准化年表(STD)、差值年表(RES)和自回归年表(ARS)进行特征值分析,确定用于与气象要素进行相关分析的年表类型。三种年表主要特征见表 2。

平均敏感度反映气候的短期变化和高频变化。平均敏感度越大,说明气候因子对树木生长的限制性作用就越大[22]。表 2 可以看出,差值年表平均敏感度最大,达到 0.2784;标准化年表次之,为 0.2543;自回归年表最小,为 0.2273。一阶自相关系数反映的是上一年气候对当年树轮宽度的影响程度:一阶自相关系数越大,说明上一年气候对当年树轮宽度的影响越强[23]。3 个银杏树轮宽度年表中,标准化年表的一阶自相关系数为 0.5389,差值年表为 0.2072,自回归年表为 0.6564。信噪比反映树木生长受非气候因素影响的大小,信噪比数值越高越好,气候信息含量多的年表具有较大的信噪比[24] [25]。标准化年表的信噪比为 0.562,差值年表的信噪比为 0.287。综合分析以上指标,银杏树轮宽度标准化年表可以反映更多的气候信息。因此,本研究选择银杏树轮宽度标准化年表与气候因子进行相关性研究,标准化年表如图 4 所示。

**Table 2.** Statistical values of the main characteristics of three chronologies

**表 2.** 三种年表主要特征统计值

主要特征值 (Statistical values of the main characteristics of chronology)	年表类型(chronology types)		
	STD	RES	ARS
平均值 (Mean)	0.9361	0.9646	0.9251
中位数 (Median)	0.8626	0.9045	0.8397
平均灵敏度 (Mean sensitivity)	0.2543	0.2784	0.2273
标准差 (Standard deviation)	0.4395	0.3589	0.4647
一阶自相关系数 (First-order autocorrelation)	0.5389	0.2072	0.6564
公共区间平均值 (Chron common interval mean)	0.89	0.922	
信噪比 (Signal-to-noise ratio)	0.562	0.287	
年表长度 (Length/a)	1865~2020	1867~2020	1866~2020
公共区间 (Shared-interval)		1956~2020	

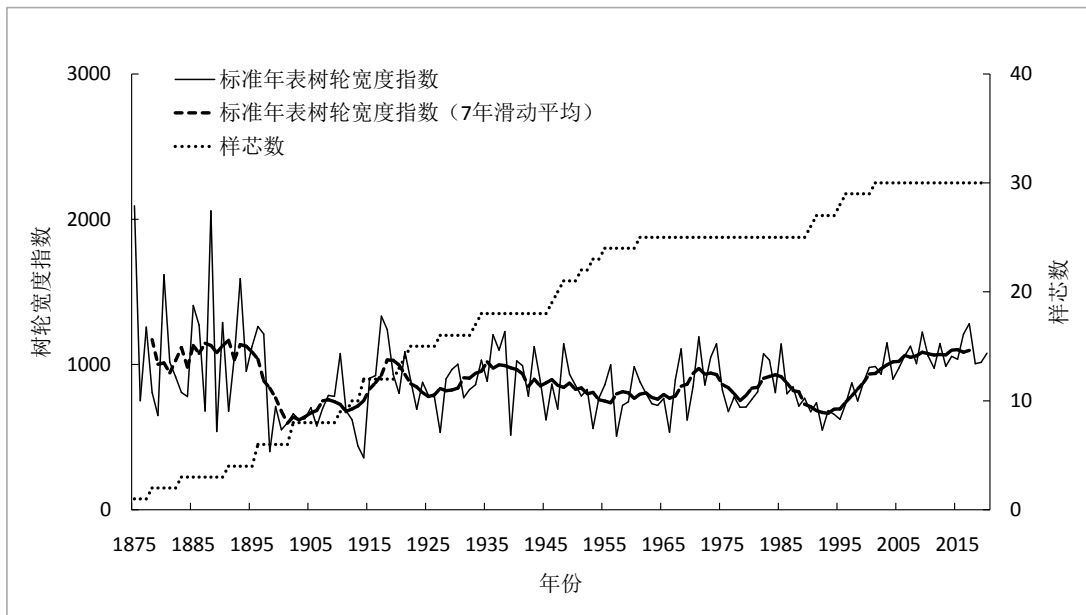


Figure 4. Standardized chronology and sample size of *Ginkgo biloba* trees in Linyi area  
图 4. 临沂地区银杏树木标准化年表及样本量

#### 4.2. 确定影响银杏树木生长的主导气候因子

对标准化年表进行 7 年滑动平均, 滑动平均曲线如图 4。分析银杏树轮标准化年表 7 年滑动平均序列与气温、降水的相关性, 根据相关性置信度水平确定影响郯城县银杏树木径向生长的主导气象因子。考虑到上一年气候对当年树木生长影响的滞后效应, 选取上一年 6 月至当年 12 月的气候资料进行相关分析。图 5 和图 6 分别为标准化年表与气温及降水的相关系数分布图。

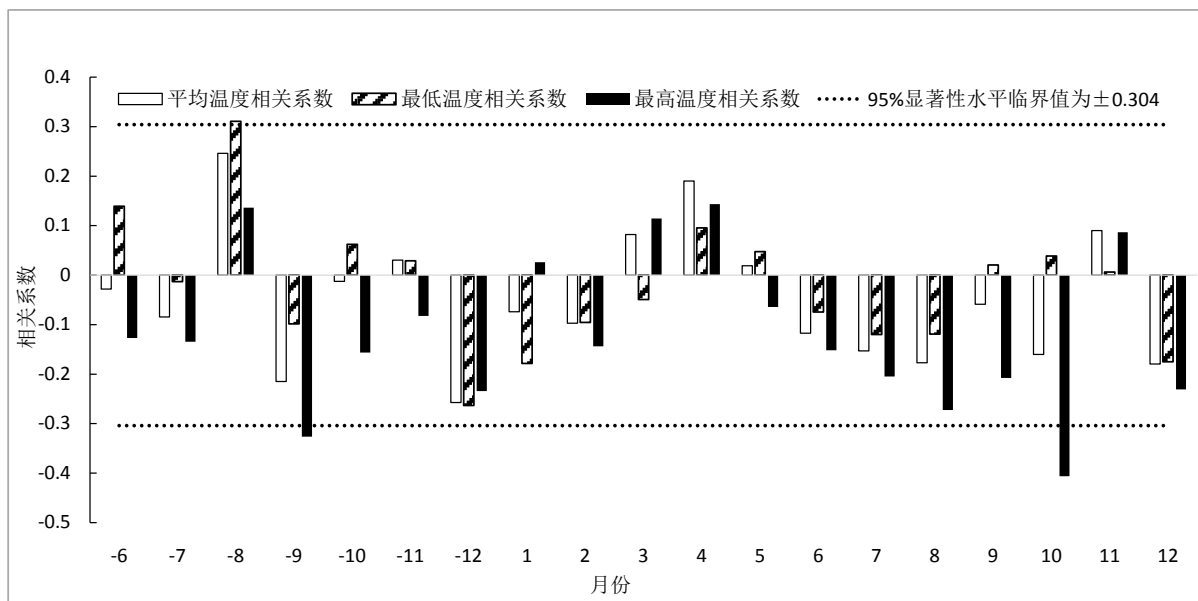
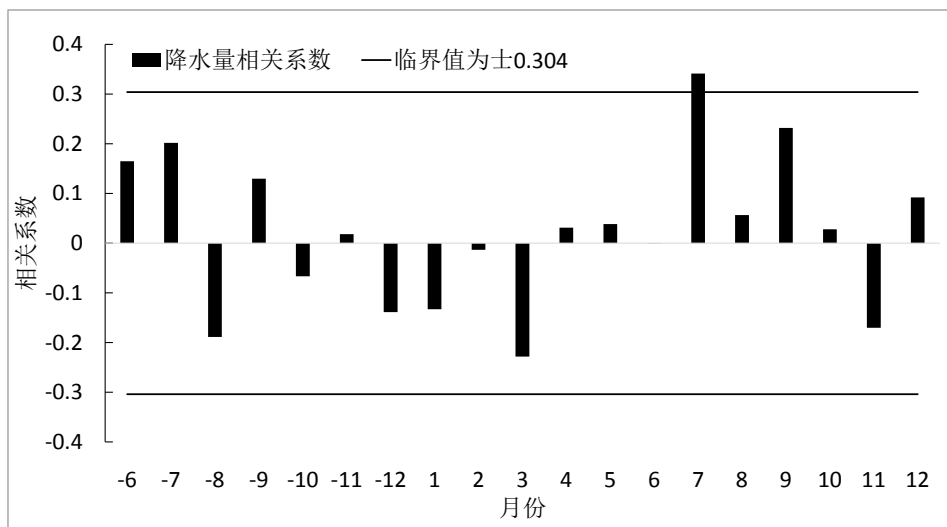


Figure 5. Correlation coefficient of the standardized chronology of ginkgo tree ring width with mean, minimum and maximum temperatures

图 5. 银杏树轮宽度标准化年表与平均温度、最低温度和最高温度的相关系数



**Figure 6.** Correlation coefficient between standardized chronology of ginkgo tree ring width and precipitation

**图 6.** 银杏树轮宽度标准化年表与降水量的相关系数

从图 5 可以看出, 树轮宽度与年平均气温及年最低气温的相关性不显著, 均未达到 95% 的显著性水平, 但树轮宽度与当年 10 月份最高温度达到 99% ( $n = 46, r = -0.408$ ) 极显著负相关。从图 6 可以看出, 临沂地区银杏树轮宽度标准化年表与多数月份的降水量相关性不显著, 但其中与 7 月的降水量达到 97.2% ( $n = 46, r = -0.3414$ ) 显著正相关, 与部分月份的降水呈负相关, 但不显著。徐成文[26]研究发现山东沂山地区油松的径向生长与当年 7 月份降水量呈显著正相关。陈峰[11]等研究了蒙山黑松幼林树轮宽度与气候的响应关系, 发现了蒙山黑松径向生长与当年 4~9 月降水量呈显著正相关。这些都与本研究结果相符。赵业思[27]等研究九连山马尾松树轮宽度与气候因子的响应关系, 发现树轮宽度与当年 10 月气温呈显著负相关, 九连山属于亚热带季风气候区, 该研究结果与本研究结果基本相符。

总之, 在临沂地区, 7 月份正值银杏树的生长季, 在银杏生长季期间, 降水越多, 对树木的生长越有利。首先, 在暖温带季风气候区, 充足的水分为树木的生长提供了保障, 土壤中的水分不仅供树木生长所需, 而且树木生长所需要的养分只有溶于水中才能被树木吸收并运输到体内各部分, 所以此时的降水量与银杏树的生长呈显著正相关。其次, 据气象资料记载, 临沂地区 10 月平均最高温度已经达到 30.7℃, 平均最高温度远高于银杏生长的适宜温度(银杏树生长的适宜温度在 14℃~18℃之间)。临沂地区雨季在 9 月份基本结束, 此时最高温度对树木生长的影响表现在树木的生长环境较为干旱, 在高温的环境的影响下对树木生长的限制作用较为强烈, 导致树木生长受阻[28]。所以, 此时的最高温度与银杏树的生长呈显著负相关。

#### 4.3. 重建研究区 100 余年主导气候因子的变化历史

根据以上的相关分析, 临沂地区银杏树轮宽度标准化年表与当年 7 月降水量和 10 月最高温度相关系数最高, 本研究选择 7 月降水量和 10 月最高温度作为气候重建因子。图 7、图 8 分别为 7 月降水量、10 月最高气温与树轮标准宽度年表间的散点分布图, 从图中可以看出, 7 月降水量, 10 月最高气温与树轮标准宽度间呈线性关系。

根据图 7 散点分布图, 建立 7 月份降水量与树轮宽度间的线性函数关系如下:

$$P = 3.223X - 271.781 (n = 40, r = 0.3414, p < 0.05), \quad (1)$$



式中  $P$  代表 7 月降水量的重建值,  $X$  代表树轮宽度值。

根据图 8 散点分布图, 建立 10 月最高温度与树轮宽度间的线性函数关系如下:

$$T = -0.0704X + 270.35 \quad (n = 40, r = -0.406, p < 0.01), \quad (2)$$

式中  $T$  代表 10 月最高气温的重建值,  $X$  代表树轮宽度值。

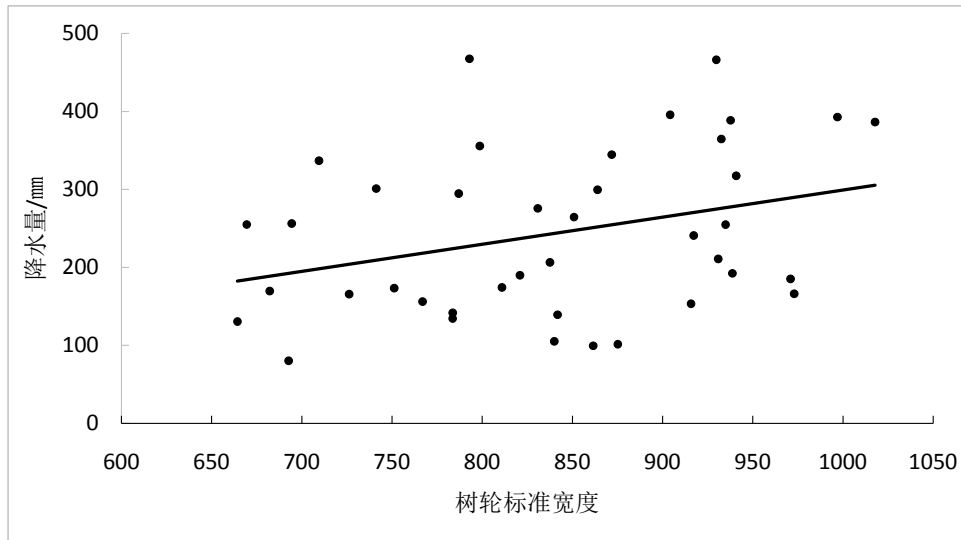


Figure 7. Scatter distribution between July precipitation and tree ring standard width chronology

图 7. 7 月降水量与标准树轮宽度年表间的散点分布图

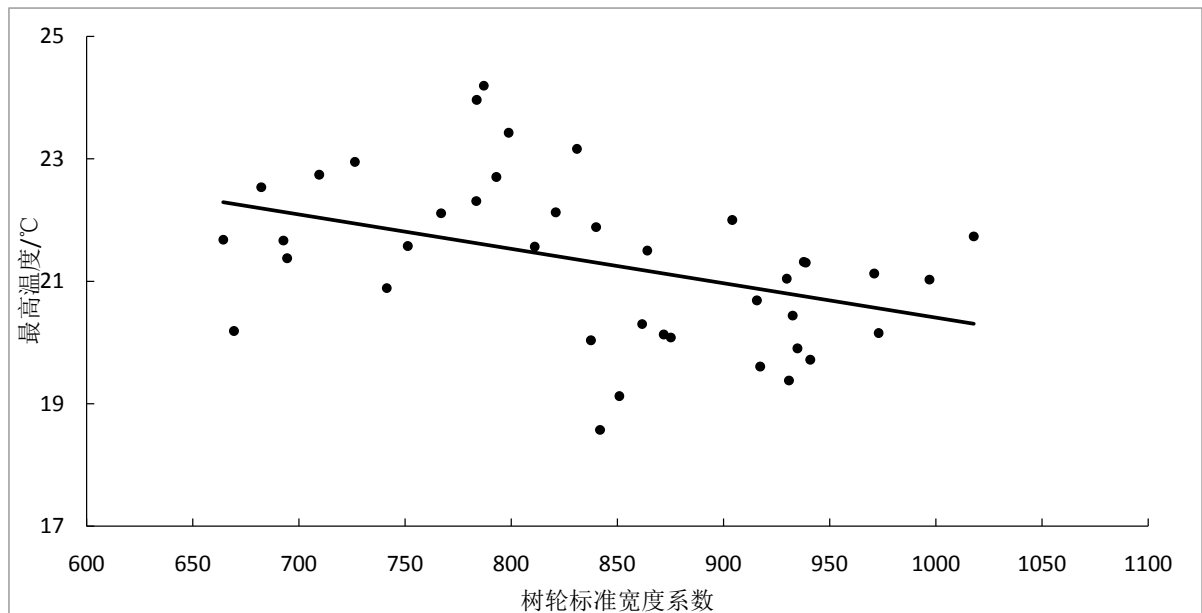


Figure 8. Scatter distribution of maximum temperature and tree ring standard width chronology in October

图 8. 10 月最高气温与树轮标准宽度年表间的散点分布图

图 9 为临沂地区 7 月份降水量重建值及实测值分布图; 图 10 为 10 月份最高温度重建值及实测值分布图。

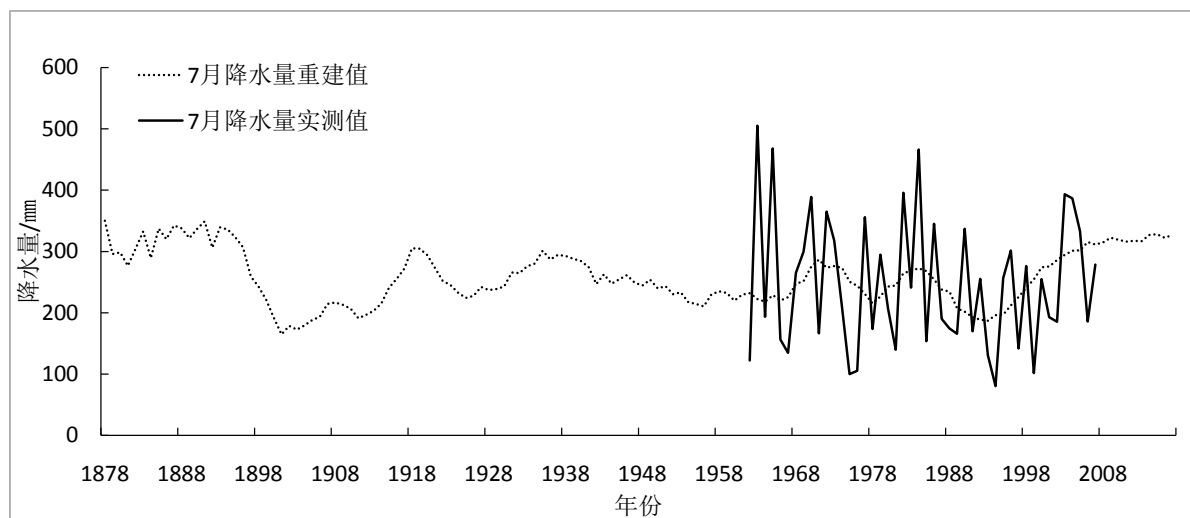


Figure 9. Reconstruction value and measured value of July precipitation in Linyi area

图 9. 临沂地区 7 月份降水量重建值及实测值

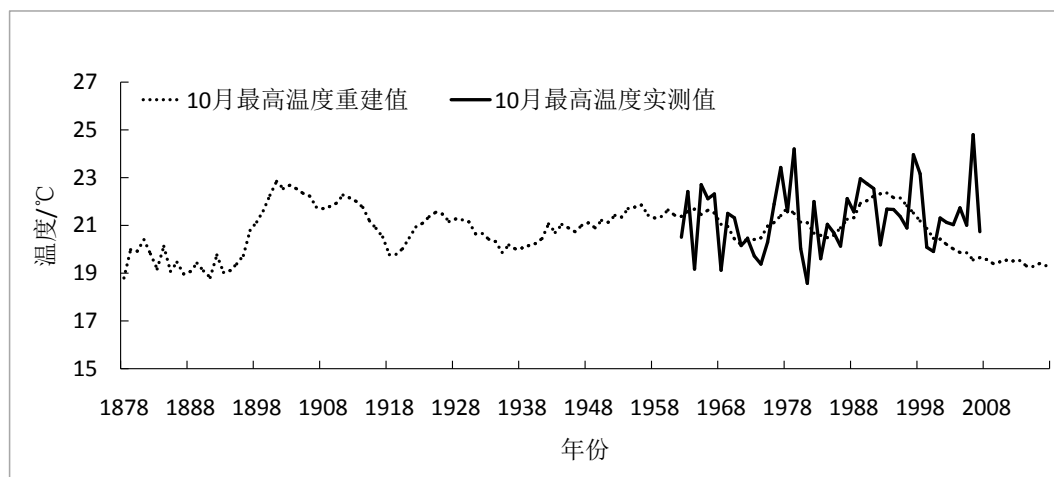


Figure 10. The reconstructed and measured values of the highest temperature in Linyi area in October

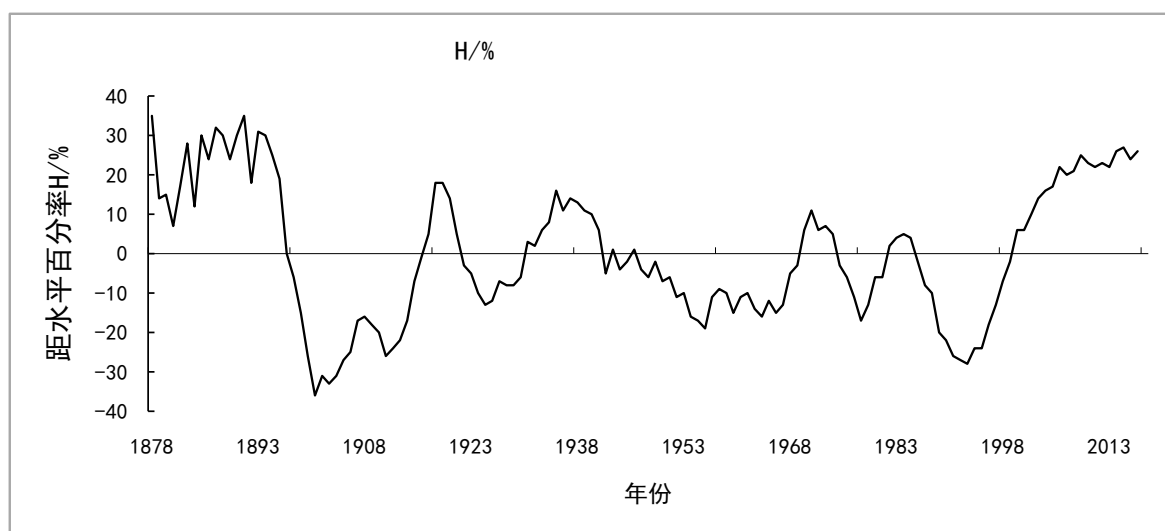
图 10. 临沂地区 10 月份最高温度重建值及实测值

由于 1868~1877 出现异常值, 通过去除幼龄效应, 重建 1878~2017 年 7 月份降水量和 10 月份最高温度。图 9 和图 10 分别为临沂地区 7 月份降水量重建值和 10 月份最高温度重建值分布图, 由两图可知, 1878~1896 年间降水量的重建序列和最高温度的重建序列变化幅度较小。其中 10 月份最高温度在 1891 年达到最低值; 7 月份降水量在 1878 年达到最高值。1896~2006 年间, 临沂地区 7 月份降水量和 10 月份最高温度变化幅度较大。其中, 7 月份降水量在 1901 年达到最低值, 10 月份最高温在 1901 年达到最高值。2007 年至今, 7 月降水量和 10 月最高温度变化幅度较小。10 月份最高温度呈现逐渐降低的趋势, 7 月份降水量呈现逐渐增加的趋势。

采用误差缩减法[29]验证重建结果的精度, 经计算得出 7 月降水量的误差缩减值为 0.849, 10 月最高温度的误差缩减值为 0.995, 一般认为误差缩减值  $\geq 0.3$  即通过验证。表明 7 月降水量和 10 月最高温度的重建值具有较高的可信度。

根据郯城气象站 46 年的 7 月份降水量实测值的平均值是 246.91 mm, 重建 7 月份降水量平均值是

246.5 mm, 重建值比实测值高 0.41 mm, 重建值与实测值基本吻合。根据重建的 7 月降水量序列计算降水量距平百分率, 如图 11 所示。



**Figure 11.** Percentage H from the horizontal of the reconstructed value of precipitation in July (%)  
**图 11.** 7 月降水量重建值的距水平百分率 H(%)

由图 11 距水平百分率 H:  $H \geq 88$  为极涝;  $37 < H \leq 88$  为大涝;  $27 < H \leq 37$  为轻涝,  $-31 \leq H \leq 27$  为正常;  $-34 \leq H < -31$  轻旱;  $-48 \leq H < -34$  为大旱;  $H < -48$  为极旱[30], 对重建 7 月降水量距水平百分率分析发现临沂地区 7 月偏早的年份共 2 年, 正常的年份共 129 年, 偏涝的年份共 9 年。

根据郯城气象站 46 年的 10 月份最高温度实测值求得的平均值是  $21.32^{\circ}\text{C}$ , 重建 10 月份最高温度平均值是  $21.05^{\circ}\text{C}$ , 实测值比重建值高  $0.27^{\circ}\text{C}$ , 重建值与实测值基本吻合。由图 10 可知, 1978~1896 年临沂地区 10 月最高温度变化幅度较小, 其中 1978 年达到最低值, 为  $18.79^{\circ}\text{C}$ ; 1896~1936 年, 临沂地区 10 月温度变化幅度较大, 其中 1901 年达到最高值, 为  $22.84^{\circ}\text{C}$ ; 1936~1966 年临沂地区 10 月最高温度变化较稳定, 呈现明显的上升趋势; 1966~1993 年临沂地区 10 月最高温度变化幅度呈不规则变化; 1993 年至今, 临沂地区的 10 月最高温度总体呈现下降趋势。

本次研究预测出的 1901 年距水平百分率为  $-36$ , 为轻旱。根据临沂市水利志[31]记载临沂地区 1899 年(清光绪二十五年)出现旱灾, 这证明了本研究的结论与资料的记录基本一致。

## 5. 结论

本次研究的发现中包含了研究区树轮宽度与当年 7 月份降水量呈显著正相关, 这与徐成文[26]在山东沂山地区油松的径向生长与降水量的关系的研究结论相一致。此外陈峰[11]等研究了蒙山黑松幼林树轮宽度与气候的响应关系, 发现了蒙山黑松径向生长与当年 4~9 月降水量呈显著正相关。赵业思[27]等研究九连山马尾松树轮宽度与气候因子的响应关系, 发现树轮宽度与当年 10 月气温呈显著负相关, 九连山属于亚热带季风气候区, 这些都与本研究结果相符。

本文以临沂市郯城县新村乡的 15 棵银杏树 30 根树芯, 建立了树轮宽度标准化年表、差值年表和自回归年表, 通过对树轮宽度年表特征分析, 综合比较敏感性、信噪比等指标, 最终选取包含更多气候信息的标准化年表进行相关分析。通过对树轮宽度进行 7 年滑动平均去趋势处理后与气象要素进行相关分析, 结果表明影响研究区树木径向生长主导气候因子是当年 7 月份降水与 10 月份最高温度, 并且发现银

杏树轮宽度和7月份降水呈明显正相关,与10月份最高温度呈明显负相关。在相关分析的基础上建立转换函数重建了研究区140年的7月份降水与10月份最高气温的历史变化。

## 基金项目

临沂大学大学生创新创业训练计划项目资助(S202010452028)。

## 参考文献

- [1] Levsque, M., Andreu-Hayles, L. and Pederson, N. (2017) Water Availability Drives Gas Exchange and Growth of Trees in Northeastern US, Not Elevated CO<sub>2</sub> and Reduced Acid Deposition. *Scientific Reports*, **7**, Article No. 46158. <https://doi.org/10.1038/srep46158>
- [2] Douglass, A.E. (1941) Crossdating and Dendrochronology. *Journal of Forestry*, **39**, 825-831.
- [3] Fritts, H.C. (1976) *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London, 1-567. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-268450-0.50006-9>
- [4] 石钦云, 徐鹏, 陶贞, 刘帅. 天山中段地区树轮气候重建与冰川波动响应分析[J]. 第四纪研究, 2021, 41(2): 356-367.
- [5] 朱显亮, 李书恒, 白红英, 侯丽, 陈兰, 秦进. 基于太白红杉树轮宽度重建近 172 年长白山自然保护区 7 月 NDVI[J]. 应用生态学报, 2018, 29(7): 2382-2390.
- [6] 苏凯, 白红英, 张扬, 黄晓月, 秦进. 基于树轮-气候资料的 160 多年来秦岭太白山降水变化特征重建[J]. 生态学杂志, 2018, 37(5): 1467-1475.
- [7] 张瑞波, 袁玉江, 喻树龙, 陈峰, 张同文, 尚华明, 范子昂. 树轮记录的青海过去 300 年 5-6 月平均最高气温时空变化[J]. 生态学报, 2016, 36(23): 7603-7613.
- [8] 牛豪阁, 张芬, 于爱灵, 王放, 张军周, 勾晓华. 祁连山东部青杆年内径向生长动态对气候的响应[J]. 生态学报, 2018, 38(20): 7412-7420.
- [9] 沈长泗, 陈金敏, 张志华, 吴祥定, 张佩云, 王桂岩. 采用树木年轮资料重建山东沂山地区 200 多年来的湿润指数[J]. 地理研究, 1998, 17(2): 39-45.
- [10] 刘禹, 雷莺, 宋慧明, 包光, 孙铂, Linderholm, H.W., 王守功. 以白皮松树轮宽度重建公元 1616 年以来山东于林年平均最低气温[J]. 地球环境学报, 2010, 1(1): 28-35.
- [11] 陈峰, 喻树龙, 袁玉江. 暖温带幼林树轮宽度气候变化响应分析——以山东蒙山黑松树轮气候研究为例[J]. 西部林业科学, 2014, 43(6): 57-65.
- [12] 郑紫薇, 赵兴云, 商志远, 王建, 成瑞琴, 陈振举. 利用黑松树轮  $\delta^{13}\text{C}$  重建山东塔山地区近七十年来冬春季的平均气温[J]. 地球环境学报, 2014, 5(1): 10-15.
- [13] 段芋竹, 赵兴云, 杨德菊, 张卫国. 银杏树轮中的铅元素对山东临沂环境变化的指示作用[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 474-476+477.
- [14] 段芋竹, 赵兴云, 张卫国. 利用树轮重建临沂地区 1851 年以来 10 月份气温变化[J]. 河南农业科学, 2016, 45(5): 71-76.
- [15] 丁新潮, 徐树建, 倪志超. 山东岱崮地貌研究综述[J]. 山东国土资源, 2014, 30(11): 32-35.
- [16] 赵兴云, 赵兴学, 罗丛彬, 徐树建. 临沂市主要自然灾害类型及防灾减灾对策[J]. 临沂师范学院学报, 2010, 32(3): 115-120.
- [17] 张磊, 潘婕, 陶生才. 1961-2011 年临沂市气温变化特征分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(5): 204-210.
- [18] 商志远, 王建, 张文, 李彦彦, 崔明星, 陈振举, 赵兴云. 大兴安岭北部樟子松树轮  $\delta^{13}\text{C}$  的高向变化及其与树轮宽度的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(1): 1-9.
- [19] 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[J]. 生态学报, 2010, 30(9): 2246-2253.
- [20] Holmes, R.L. (1983) Computer-Assisted Quality Control in Treering Dating and Measurement. *Tree-Ring Bulletin*, **43**, 69-78.
- [21] Holmes, R.L. (1992) Program ARSTAN (Version B-1992). Laboratory of Tree Ring Research, University of Arizona, Tucson, 30.

- 
- [22] 董志鹏, 郑怀舟, 方克艳, 严容, 郑立伟, 杨玉盛. 福建三明马尾松树轮宽度对气候变化的响应[J]. 亚热带资源与环境学报, 2014, 9(1): 1-7.
- [23] 胡建, 喻树龙, 袁玉江, 张同文, 尚华明, 张瑞波. 阿尔泰山中部树轮宽度年表特征及其气候响应分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(3): 19-26.
- [24] 王延芳, 张永香, 勾晓华, 高琳琳, 王放. 祁连山中部低海拔地区青海云杉径向生长的气候响应机制[J]. 生态学报, 2020, 40(1): 161-169.
- [25] 王亚军, 张永, 邵雪梅. 河北太行山南段树木年轮指示的 167 年来相对湿度变化研究[J]. 生态学报, 2019, 39(12): 4570-4578.
- [26] 徐成文. 山东沂山油松树轮宽度年表及  $\delta^{13}\text{C}$  年序列的气候意义[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2015.
- [27] 赵业思, 商志远, 王建, 郭海婷, 周德帅, 丁苗. 马尾松树轮宽度与气候因子关系的地域差异——以九岭山和九连山为例[J]. 亚热带资源与环境学报, 2014, 9(4): 1-8.
- [28] 蔡秋芳, 刘禹. 湖北麻城马尾松树轮宽度对气候的响应及 1879 年以来 6~9 月平均最高气温重建[J]. 科学通报, 2013, 58(S1): 169-177.
- [29] 赵兴云, 郭媛媛, 朱利凯, 田金梅, 曲晓倩, 任佳璇, 李文静, 卜祥凤, 王树鑫. 20 世纪初以来沂蒙山区森林植被动态及其对气候变化的响应——基于遥感和树轮的研究[J]. 地球环境学报, 2020, 11(3): 265-279.
- [30] 王跃民, 鲁慧霞, 刘璟瑜, 吴刚, 董仲民. 3 个不同旱涝指标划分旱涝等级的比较研究[J]. 现代农业科技, 2011(7): 326-327+329.
- [31] 临沂市水利史志编纂办公室. 临沂市水利志[M]. 临沂: 山东临沂市编纂办公室, 1994: 62-71.