

# 中国中西部地区树木年轮对 20 世纪 20 年代 干旱灾害的指示\*

梁尔源 邵雪梅\*\* 黄磊 王丽丽

中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

**摘要** 分析了青藏高原东北部的祁连圆柏(*Sabina przewalskii* Kom.)、内蒙古中部的油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)和关中地区华山松(*Pinus armandii* Franch.)树轮序列之间的关系及用它们来指示极端干旱事件时空演变特征的潜力。结果表明, 研究区内相邻树轮年表之间以及相距较远的树轮年表之间存在显著的相关关系, 这表明了区域性和大范围的气候变化对树木生长的影响, 同时也暗示了在中国西北半干旱区建立大空间尺度上树轮网络的潜力。在最近 150 年内, 不同地区树木在 20 世纪 20 年代和 30 年代初都有明显的生长下降现象, 但是树木生长开始下降的时期及下降的幅度具有区域性的差异。这段时期树木生长的下降反应了可能发生的干旱事件, 而多方面的历史记录证实了这一推断。另外, 树木生长的区域差异反应了干旱发生的时空特征。

**关键词** 树轮 20 世纪 20 年代的干旱 中国中西部

大范围或区域性的干旱灾害能给社会、经济及生态环境造成严重影响<sup>[1-3]</sup>, 甚至可导致繁荣的社会和高度发达的文明迅速衰落或衰亡<sup>[4-6]</sup>。对过去干旱灾害发生的时空变化特征的了解有助于预测和评价将来可能发生的此类自然灾害。树木年代学的研究证明, 干旱及半干旱区树木的生长可以通过树木年轮的形成而记录了年际或季节性的干旱事件的发生<sup>[7, 8]</sup>。由此, 干旱或半干旱区的树轮分析可增加人们对过去极端干旱事件的了解。本研究通过中国中西部干旱及半干旱区树轮资料的分析, 揭示用树轮分析来指示极端干旱灾害发生及其时空变化特征的潜力。

## 1 研究区域及环境

此研究的样本来自三个地理区域, 即青藏高原东北部、内蒙古中部及关中地区(图 1)。内蒙古包

头、呼和浩特和准格尔旗地区位于我国北方的农牧交错带, 是环境变化的敏感区, 又是人类活动对自然影响极为明显的地区。由于人为干扰的影响, 这些地区的天然林资源遭到严重破坏, 至今仅在庙宇周围残存有小片天然林。准格尔旗(JGB)位于鄂尔多斯高原和黄土高原的过渡区, 其北部和西南部分别接近库布齐沙漠和毛乌素沙漠的边缘。JGB 油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)林位于准格尔旗阿贵庙对面的黄土丘陵阴坡(39°29'N, 110°42'E, 海拔 1347m), 是本研究中新的树轮采样点。呼和浩特(HHT)油松林位于大青山南坡的喇嘛洞附近(40°48'N, 111°17'E, 海拔 1300m), 其标准年表由张捷建立<sup>[9]</sup>。包头(BT)油松林位于阴山的西部, 包头东北约 30 km 处的五当召(40°50'N, 110°21'E, 海拔 1460m), 为一稀疏林缘。李询等<sup>[10]</sup>在五当召附近的西山(BWW)和后山(BWN)采集了 2 组树轮

2003-07-31 收稿; 2003-10-10 收修改稿

\* 中国科学院知识创新工程(KZCX3-SW-321, KZCX2-314)和国家自然科学基金(批准号: 90102005)资助项目

\*\* 联系人, E-mail: shaoxm@igsnr.ac.cn

1) 张捷. 内蒙古农牧交错带东西部年轮气候序列建立及年轮气候区域差异研究. 北京师范大学硕士论文, 1994

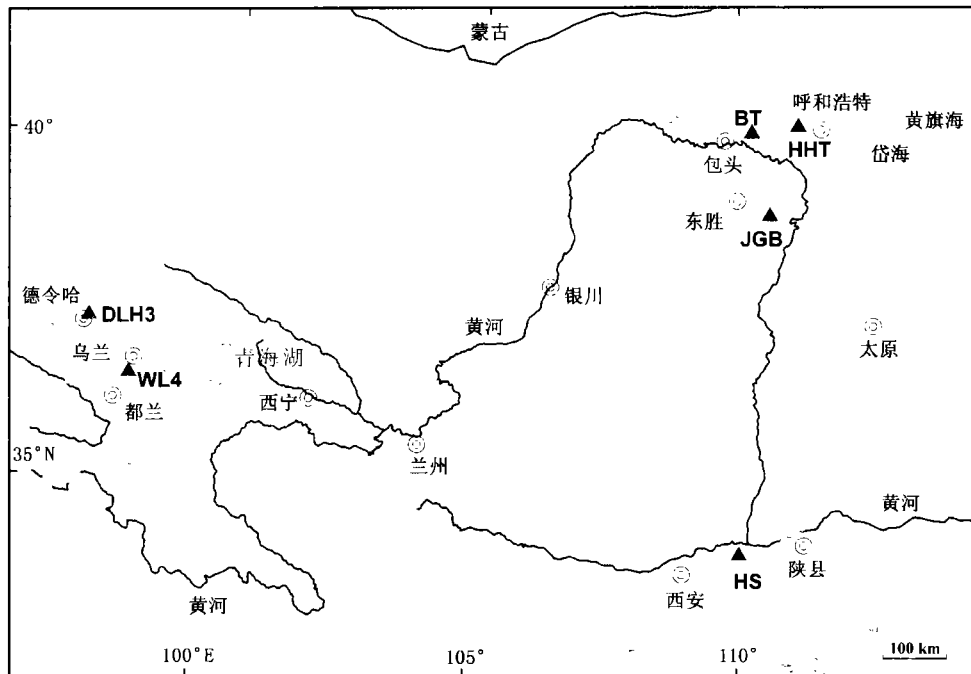


图 1 采样位点(▲)及其临近的气象站和城市(⊙)

样品, 本研究对 2 组树轮样本重新进行了交叉定年。

与 BT, HHT 和 JGB 三片油松林相邻的气象站分别位于包头( $40^{\circ}40'N$ ,  $109^{\circ}51'E$ , 海拔 1067 m)、呼和浩特( $40^{\circ}49'N$ ,  $111^{\circ}41'E$ , 海拔 1063 m)和东胜( $39^{\circ}50'N$ ,  $109^{\circ}59'E$ , 海拔 1460 m)。呼和浩特和东胜的年降雨量约 400 mm, 包头地区在 300 mm 左右, 这些地区 55% 以上的年降雨都集中于夏季的 7~8 月份。年平均温度在  $6\sim 8^{\circ}C$  之间, 1 和 7 月份分别是平均气温分布的最低和最高点。

华山松(*Pinus armandii* Franch.) 年轮样本采集于秦岭东端华山( $34^{\circ}29'N$ ,  $110^{\circ}05'E$ , 海拔 2100 m) 的东峰、南峰和西峰附近, 3 个采样点相距 1~2 km<sup>[11]</sup>。华山松是主要的优势种, 生长于陡坡和土壤贫瘠的山坡上。邵雪梅和吴祥定<sup>[11]</sup>依据这些华山松树轮样本建立了 3 个标准年表, 并分析了华山松的生长与气候因子之间的关系, 指出当年 5~6 月份的降水是华山松的主要生长限制因子。另外, 刘洪滨等<sup>[12]</sup>利用华山松年轮宽度年表重建了陕西关中及周边地区近 500 年来初夏干燥指数的变化。位于西峰 2060 m 海拔的华山气象站所记录的历年平均降雨量为 884 mm, 48% 的降雨量集中于 7~9 月份,

年平均温度  $6^{\circ}C$  左右。

柴达木盆地东部的两片祁连圆柏(*Sabina przewalskii* Kom.) 天然林 DLH3 ( $37^{\circ}27'08"N$ ,  $97^{\circ}32'55"E$ , 海拔 3920 m) 和 WL4 ( $36^{\circ}40'76"N$ ,  $98^{\circ}24'97"E$ , 海拔 3700 m) 分别位于宗务隆山和沙利克山的南坡<sup>[13]</sup>。祁连圆柏主要生长于 3500~4000 m 海拔的垂直高度上, 呈带状分布。柴达木盆地东部属于干旱荒漠草原区, 年平均温度  $2\sim 3^{\circ}C$ , 年降雨量不足 200 mm。由于环境条件恶劣, 祁连圆柏生长缓慢, 其树龄可超过千年。最近邵雪梅等<sup>[12]</sup>在柴达木盆地东部建立了 DLH3 和 WL4 等多个千年祁连圆柏年轮宽度年表。

## 2 数据分析

依据年轮宽度的变化模式对 BT 和 JGB 树轮序列进行初步交叉定年, 并以 0.01 mm 精度的轮宽测量仪进行树轮宽度的测量。之后, 用 COFECHA 程序对定年和量测进行检验<sup>[14, 15]</sup>。我们运用 ARSTAN 程序, 选取 80 a 步长的样条函数拟合了 BT 和 JGB 树轮宽度测量序列的生长趋势, 并建立指数化的树轮宽度标准年表<sup>[11]</sup>。五当召西山和后山的油松年轮宽度年表序列在 1770~1987 年之间存在较

高的相关系数(0.83),此研究中将它们合成一个标准年表BT.3个华山年表<sup>[11]</sup>在1521~1992年之间也存在显著的相关关系(0.60~0.80),3个标准年表通过平均合成一个HS年表.采样点的描述及6个年表的统计特征见表1.

表1 采样点概括和6个树轮标准年表的统计量

年表	树种	海拔/m	年表长度	样本量 株/样芯	平均敏 感度
BT	<i>Pinus tabulaeformis</i>	1460	1724~1987	30/61	0.42
HHT	<i>Pinus tabulaeformis</i>	1300	1622~1991	19/38	0.33
JGB	<i>Pinus tabulaeformis</i>	1347	1850~1998	30/61	0.39
HS	<i>Pinus armandii</i>	2100	1458~1992	13/26	0.23
			1512~1992	14/28	0.22
DLH3	<i>Sabina przewalskii</i>	3920		20/37	0.37
WL4	<i>Sabina przewalskii</i>	3700		21/32	0.42

此研究利用多种统计方法比较了6个树轮宽度标准年表之间的变化模式及其相关关系.首先,我们比较各年表5年滑动平均序列的变化趋势,并用相关分析的方法揭示不同年表在1850~1887年之间年轮宽度变化幅度的一致性.对6个树轮序列分别进行一阶差变换后,再计算它们之间的相关关系,分析序列间在高频变化上轮宽变化幅度的同步性<sup>[13]</sup>.另外,我们还计算了各标准年表之间的 Gleichäufigkeit 值<sup>[16]</sup>,这一非参数的统计量主要反应树轮年表之间在轮宽变化趋势上的相似性<sup>[13, 16~18]</sup>.

### 3 6个年表间的相关关系

多种统计分析阐明了相邻年表之间以及相距较远的树轮年表之间在轮宽变化幅度和变化趋势上的相似性.极显著的相关关系( $P < 0.001$ )仅存在于相邻的3个油松年表(BT, HHT和JGB)之间以及2个祁连圆柏年表之间(DLH3和WL4)(表2),而距离较远的WL4和BT, DLH4与HHT以及HS与HHT树轮年表之间的相关关系在 $P < 0.05$ 的显著水平上.树轮序列之间显著相关关系的存在揭示了不同树轮序列间在轮宽变化幅度上较高的一致性.除与WL4年表之间存在显著的相关关系外,DLH3与其他年表之间无显著的相关关系.经一阶差变换后,树轮序列之间的相关系数普遍提高(表2),尤其是DLH3与两个油松

年表(HHT和BT)之间的相关系数均达到了 $P < 0.001$ 的显著水平,这揭示了不同树轮序列间的轮宽变化幅度在高频变化上具有更好的相似性.所有年表间的 Gleichäufigkeit 值都不低于50%,但高于70%的 Gleichäufigkeit 值仍仅存在于3个油松年表之间及2个祁连圆柏年表之间.此外,BT与DLH3年表之间也存在较高的 Gleichäufigkeit 值(68.2%)(表2). Gleichäufigkeit 统计量特征表明了不同树轮年表在年与年之间轮宽变化趋势上的一致性.

表2 树轮宽度年表间的相关分析(1850~1987)<sup>a)</sup>

相关分析	Gleichäufigkeit / %					
	BT	JGB	HHT	DLH3	WL4	HS
BT		71.9	75.5	68.2	59.1	56.6
JGB	0.392 (0.564)		75.9	51.1	52.2	50.0
HHT	0.752 (0.761)	0.568 (0.654)		54.7	54.4	60.6
DLH3	0.113 (0.276)	-0.083 (-0.018)	0.106 (0.212)		78.5	59.1
WL4	0.193 (0.236)	0.091 (0.093)	0.245 (0.260)	0.728 (0.744)		52.2
HS	0.127 (0.137)	0.094 (0.0132)	0.231 (0.226)	-0.015 (0.119)	0.058 (0.100)	

a) 0.165和0.240相关系数分布对应于95%和99%的置信区间.左下角为年际间的相关系数,括号内为一阶差后序列间的相关系数;右上角为 Gleichläufigkeit 统计量

相邻森林位点树木径向生长变化模式的相似性表明,树木的生长具有明显的区域特征.这是因为研究区内相邻(82~153 km)森林位点环境极为相似,相同月份的平均温度之间及降雨量之间的相关系数都高于 $P < 0.001$ 的显著水平.在此研究中,我们注意到青藏高原东北部祁连圆柏与相距1200 km左右的内蒙古中部油松年表之间存在显著的相关关系.最近,梁尔源等<sup>[18]</sup>发现内蒙古中部和东部相距600 km的树轮年表之间也存在显著的相关关系.这些分析表明了中国北方干旱和半干旱区树木的生长很大程度上受大空间尺度的气候变化的影响.地中海地区树木的生长主要受夏天降雨的影响,但仅在相距200 km范围内的树轮宽度序列之间才可以发现显著的相关关系<sup>[19]</sup>. Bräuning<sup>[17]</sup>也发现青藏高原东部圆柏与相距460 km

的云杉树轮序列之间仅存在较弱的相关关系。祁连圆柏与油松年表之间在高频变化上的显著相关关系也揭示了, 这些树木的生长主要受相似的年际间气候变化的影响。因此, 这些树轮年表可用来指示大范围的极端环境干扰事件的发生。

#### 4 树轮序列的异常变化与 20 世纪 20 年代的干旱事件

在同一地区, 平滑后的树轮宽度变化趋势具有

十分相似的模式, 但不同地区树轮轮宽变化趋势存在明显的差异(图 2)。除 DLH3 祁连圆柏树轮年表外, 其他树轮年表在 20 世纪 20 年代和 30 年代初期都有近 150 年来的最显著的生长下降(图 2)。其中, 华山松生长下降的幅度小于油松和祁连圆柏, 而 JGB 油松的生长下降最为显著, 存在长达连续 11 年(1922~1932 年)的低生长期。另外, HHT 和 BT 油松的极端窄轮集中于 1926~1932 年之间, DLH3 祁连圆柏在此期间无明显的生长下降趋势(图 2)。

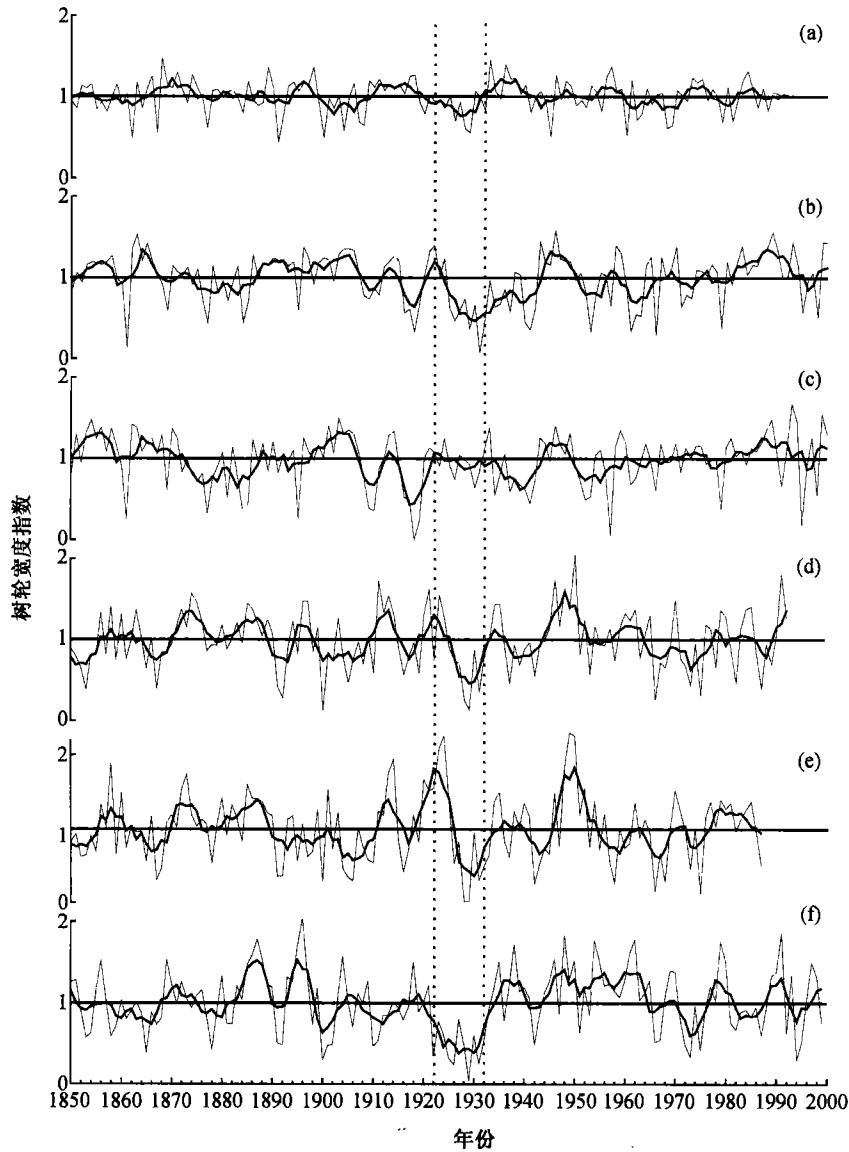


图 2 6 个树轮宽度年表近 150 年来的变化模式

细线为年值, 平滑曲线为 5 年滑动平均值, 竖线之间年份是 1922~1932 年。

(a) HS; (b) WL4; (c) DLH3; (d) HHT; (e) BT; (f) JGB

除 DLH3 外, 其他年表在 20 世纪 20 年代和 30 年代初期间有缺失轮的发生. 其中, JGB 年轮序列在此期间的缺失轮高达 12.94%, 主要集中于 1922 (13.46%), 1925 (11.54%), 1926 (23.08%), 1928 (5.77%), 1929 (61.54%) 和 1931 (23.08%) 年, BT/HHT 树轮年表的缺轮主要发生在 1928 (47.06%/54.24%), 1929 (64.71%/84.75%) 和 1931 (26.47%/16.95%) 年. WL4 祁连圆柏年轮序列在 1929 (28.13%) 和 1931 (41.05%) 年也有高比例缺失轮的发生. 华山松年轮序列也在 1928 与 1929 年形成相当窄的年轮, 并在 1929 年有少数的缺失轮.

树木缺失轮的发生往往是极端环境条件不能满足树木生理活动的基本要求, 从而限制了树木形成层活动的结果<sup>[7]</sup>. 在干旱及半干旱地区, 降雨是树木生长的主要限制因子<sup>[7, 20~22]</sup>. 响应函数分析也揭示, 这些年表中 50%~65% 的年轮宽度的变化可以由上年 8 月至当年 10 月份的月降水量的变化来解释, 这表明了 3 个研究区内树木的生长对降水变化的敏感性. 研究区内祁连圆柏、油松和华山松年轮序列在 20 世纪 20 年代和 30 年代初高比率缺轮或极端窄轮的发生暗示了那段时期大空间尺度上极端干旱事件的发生. 同时, 树轮分析也表明了 20 世纪 20 年代的干旱事件可能是最近 150 年来最严重的, 从缺轮发生的比率还可以推测旱灾发生的顶峰应该在 1929 年.

尽管研究区内很少气象站有 20 世纪 20 年代的气候资料记录, 但一系列的历史及代用资料证实 20 年代旱灾的发生. 甘肃省 1928 年降雨量只有 81.4 mm, 而呼和浩特 1929 年的降雨量也仅有 35.2~42.8 mm, 这解释了树轮序列在 1928 和 1929 年高比率窄轮的发生. 河南陕县黄河水文站的记录也表明, 黄河上中游地区存在连续 11 年 (1922~1932 年) 的枯水期 (图 3). 通过对黄河上游青铜峡和中游万锦滩等报汛志桩及清代宫廷档案等资料的整理分析, 史辅成等<sup>[23]</sup>指出 20 世纪 20 年代的黄河枯水事件是近 200 年来最严重的. 另外, 内蒙古中部的内陆湖黄旗海

1929 年曾干涸<sup>1)</sup>, 附近的岱海近 200 年的最低水位也发生在 1927~1929 年之间, 湖泊的面积缩至 50 km<sup>2</sup>, 而 1988 年的湖泊面积则为 134 km<sup>2</sup><sup>[24]</sup>. 值得提出的是, 20 年代的旱灾所带来的饥荒、瘟疫再加上匪害的影响共造成了甘肃、陕西、内蒙古、宁夏和青海等省区至少有 400 万人口的死亡<sup>[25, 26]</sup><sup>2), 3)</sup>, 由此可见 20 年代特大旱灾的严重程度. 利用祁连圆柏年轮宽度对祁连山区 5~7 月份湿润指数的重建也表明了 20 年代干旱事件的发生<sup>[27]</sup>; 最近的研究也揭示了 20 世纪 20 年代的干旱可能是造成锡林河流域典型草原上白桦林成片死亡的主要原因<sup>[18]</sup>; 历史文献也记载了 20 世纪 20 年代的特大旱灾造成了黄河中上游地区许多古树的死亡及内蒙古东部草原牲畜数量的下降<sup>[25]</sup>, 暗示了持续的干旱对森林及草原生态系统的影响. 总之, 一系列的历史事实证明由年轮分析所推测的 20 世纪 20 年代和 30 年代初可能发生的干旱事件, 并且此时期的干旱是黄河流域近 500 年来仅次于明崇祯十三年 (1627 年) 的特大旱灾<sup>[25, 28]</sup>. 此研究证明了在我国西北干旱和半干旱区利用树轮分析来指示大空间尺度上干旱事件的潜力.

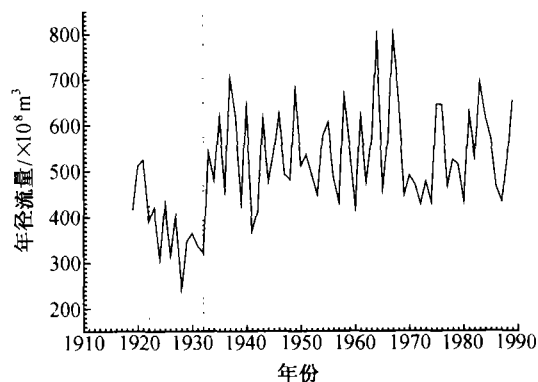


图 3 陕县水文站记录的 1919~1989 年间的黄河年径流量  
竖线之间年份是 1922~1932 年

不同森林位点的树木在 20 世纪 20 及 30 年代初的生长存在空间上的差异. 尽管 WL4 年轮序列在 20 年代有明显的生长下降, 但位于 WL4 西部 115 km 的 DLH3 无明显的生长下降现象, 这暗示了 WL4 森林位点可能已接近 20 年代干旱发生的西部

1) 内蒙古察右前旗水利局档案资料, 1989

2) 甘肃省水旱灾害编委会, 甘肃省水旱灾害(油印本), 1994

3) 内蒙古内蒙古历代自然灾害史料编委会, 内蒙古历代自然灾害史料(油印本), 1982

边缘区. 树轮分析也表明持续 11 年 (1922~1932 年期间) 的干旱发生于 JGB 油松位点. 另 2 个油松位点 (BT 和 HHT) 的明显生长下降开始自 1926 年, 这暗示了严重的干旱在 1926 年左右开始扩展到这 2 个森林位点, 历史文献记录证明了这一推断<sup>[28]</sup>. 相似地, HS 森林位点在 1926~1929 年期间也遭受干旱的影响. 另外, 内蒙古中部 3 个油松年表在 1931 年形成极窄年轮以及高比率缺失轮, 但关中地区华山的松窄轮出现于 1932 年. 上述分析表明, 多个森林位点年轮宽度的变动模式可用来指示极端干旱的演变特征极其区域差异.

## 5 结论

最近 150 年的树轮分析揭示了 20 世纪 20 年代至 30 年代初期大范围的树木生长下降现象, 但是树木生长下降的时期和幅度具有明显的区域特征. 一系列历史事实证明了大范围的生长下降与极端干旱事件之间的联系. 青藏高原东北部和内蒙古中部树轮年表之间显著遥相关关系的存在暗示了在中国西北干旱和半干旱区建立大空间尺度的树轮网络, 用以判定旱灾发生的时空特征的可能, 进而尝试用来绘制大空间尺度上旱灾发生的历史.

**致谢** 中国科学院植物研究所孔昭宸和陈旭东在对内蒙古准格尔旗油松树轮样本的采集过程中给以支持与帮助, 中国科学院地理科学与资源研究所的戴君虎对文章的初稿提出若干修改意见, 在此表示感谢.

## 参 考 文 献

- 葛全胜, 等. 人口压力, 气候变化与太平天国运动. 地理研究, 1995, 14(4): 21
- Neumann J, et al. Great historical events that were significantly affected by the weather: Part 9, the year leading to the revolution of 1789 in France(II). Bull Amer Meteor Soc, 1990, 71(1): 33
- 许靖华. 太阳, 气候, 饥荒与民族大迁移. 中国科学, D 辑, 1998, 28(4): 366
- Bryson R A, et al. Holocene variations of monsoon rainfall in Rajasthan. Quat Res, 1981, 16: 135
- 方修琦. 从农业气候条件看我国北方原始农业的衰落与农牧交错带的形成. 自然资源学报, 1999, 14(3): 212
- DeMenocal P B. Culture responses to climate change during the late Holocene. Science, 2001, 292: 667
- Fritts H C. Tree Ring and Climate. London: Academic Press, 1976
- Bradley R S, et al. Climate Since A. D. 1500. London: Routledge, 1992
- 刘禹, 等. 树轮宽度对近 376 年呼和浩特季节降水重建. 科学通报, 1999, 44(18): 1986
- 李恂, 等. 包头地区 250 年来干湿变化的初步研究. 地理科学, 1992, 12(2): 143
- Shao X M, et al. Radial growth of Huashan pine and its response to climate. J China Geography, 1994, 4(3/4): 88
- 刘洪滨, 等. 中国陕西关中及周边地区近 500 年来初夏干燥指数序列的重建. 第四纪研究, 2002, 22(3): 220
- 邵雪梅, 等. 柴达木东缘山地千年祁连圆柏年轮定年分析. 地理学报, 2003, 58(1): 90
- Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-ring Bull, 1983, 43: 69
- Grissino-Mayer H D. Woody plants in North America: A multimedia tutorial for the computer program COFECHA. Tree-Ring Res, 2001, 57(2): 205
- Schweingruber F H, et al. A tree-ring densitometric transect from Alaska to Labrador. Int J Biometeorol, 1993, 37: 151
- Bräuning A. Dendrochronology for the last 1400 years in eastern Tibet. GeoJournal, 1994, 34: 75
- Liang E Y, et al. The extreme drought in the 1920s and its effect on tree growth deduced from tree ring analysis: A case study in North China. Ann For Sci, 2003, 60(2): 145
- Schweingruber F H. Dendro-ecological zones in the coniferous forests of Europe. Dendrochronologia, 1985, 3: 67
- Fritts H C. Relationships of ring widths in arid-site conifers to variations in monthly temperature and precipitation. Ecol Monograph, 1974, 44(4): 411
- Meko D M, et al. The tree-ring record of severe sustained drought. Water Resources Bull, 1995, 31(5): 789
- Liang E Y, et al. Dendroclimatic evaluation of climate-growth relationships of Meyer spruce (*Picea meyeri*) on a sandy substrate in semi-arid grassland, north China. Trees, 2001, 15(4): 230.
- 史辅成, 等. 黄河 1922~1932 年连续 11 年枯水段的分析研究. 水科学进展, 1991, 2(4): 258
- 王苏民, 等. 岱海-湖泊环境与气候变化, 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1990
- 徐国昌, 等. 中国干旱半干旱区气候变化, 北京: 中国气象出版社, 1997. 85~101
- 陕西历史自然灾害简要纪实编委会. 陕西历史自然灾害简要纪实, 北京: 中国气象出版社, 2002
- 张志华, 等. 祁连山地区 1310 年以来湿润指数及其年际变幅的变化与突变分析. 第四纪研究, 1996, 4: 368
- 中国气象局气象科学研究所. 中国近五百年旱涝分布图集. 北京: 地图出版社, 1981