- forms. *Hum Mol Genet*, 1996, 5: 95~ 102
- 10 陈雨亭, Sittler A, 余珉, 等. 用酵母双杂交体系筛选与 FMRP 相互作用蛋白的 cDNA. *中国医学科学院学报*, 1998, 20 (3): 173~ 178
- 11 Ausubel F M, Brent R, Kingston R E, et al. *Short Protocols in Molecular Biology*, 3 rd ed. New York: John Wiley & Son Inc, 1992. 13-1~ 13-61
- 12 Sambrook J, Fritsch E F, Maniatis T, et al. *Molecular Cloning*, 2nd ed. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1987
- 13 Fields S, Sternglanz R. The two-hybrid system: an assay for protein-protein interactions. *TIBS*, 1994, 10: 286~ 292
- 14 Fromont-Racine M, Rain J C, Legrain P. Toward a functional analysis of the yeast genome through exhaustive two-hybrid screens. *Nature Genetics*, 1997, 16: 277~ 282
- 15 Bartel P L, Roecklein J A, SenGupta D, et al. A protein linkage map of *Escherichia coli* bacteriophage T7. *Nature Genetics*, 1996, 12: 72~ 77
- 16 Neddemann P, Gallinari P, Lettieri T, et al. Cloning and expression of human G/T mismatch-specific thymine DNA glycosylase. *J Biol Chem*, 1996, 271: 12767~ 12774
- 17 Um S, Harbers H, Beneck A, et al. Retinoic acid receptors interact physically and functionally with the T:G mismatch-specific thymine DNA glycosylase. *J Biol Chem*, 1998, 273: 20728~ 20736
- 18 Bardoni B, Sittler A, Shen Y, et al. Analysis of domains affecting intracellular localization of the FMRP protein. *Neurobiology of Disease*, 1997, 4: 329~ 336

(1999-01-15 收稿, 1999-05-31 收修改稿)

树轮宽度对近 376 年呼和浩特季节降水的重建

刘 禹 马利民

(中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710054)

摘要 基于树轮宽度指标, 精确重建了呼和浩特过去近 376 年以来 2~ 6 月降水总量的演变历史, 解释方差为 56%。历史文献记载的旱灾年份在重建序列上均有所反映。两者无论在年际间高频还是在 10 年尺度的低频变化均具有很好的一致性。周期分析表明: 呼和浩特 2~ 6 月降水含有 40, 5.33, 5.10, 4.55 和 2.09, 2.03 年的显著周期。

关键词 呼和浩特 大青山 树轮宽度年表 降水重建

树木年轮(见封面)以其分辨率高(年或季节)、记录连续性好和重建精度较高等优势, 成为全球变化研究中获取过去气候环境演变数据的重要方法之一。位于东亚夏季风最北缘、地处干旱_半干旱地区的阴山横亘于内蒙古中部地区, 东西狭长, 是通过内蒙古的一道重要地理分界线。大青山主峰海拔 2 300 m。这里气候干燥, 降水量少, 且年际变率大。山脉南侧年平均气温 6~ 8℃, 年降水量一般为 400 mm。干旱是这一地区发生频率最高、危害最严重的自然灾害^[1]。本文将就如何从树木年轮中提取季节降水变化的信息进行讨论。

1 样品采集

在阴山地区, 由于受自然和人为因素的双重影响, 现存森林已极其稀少, 可供选择的采样点非常有限。根据我们的研究目标和样本的可采情况, 将采样位置定在大青山南坡的喇嘛洞

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb1999-44-18-1986>

(40°48'N, 111°17'30"E, 海拔 1 300 m). 距呼和浩特市以西约 20 km.

该地优势树种为油松(*Pinus tabulaeformis*), 夹杂有少量杜松(*Juniperus rigida*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、白桦(*Betula platyphylla*)等. 采样点附近大范围土壤贫脊, 植被稀疏, 树木之间郁闭度低(< 0.01). 树木均长于岩石风化物之上, 降水是该地树木生长的主要限制因子, 这是比较典型的树轮取样环境. 用于研究的树种为油松, 基于国际树木年轮库(ITRDB)的标准, 采集了 15 棵现生树, 每树以生长锥从不同方向取 2 芯. 所有样本均取自山脊线上. 采集时间为 1997 年 7 月.

样本经干燥、固定和打磨(用 320 mesh 砂纸)后, 应用树轮研究的基本方法 SKELETON PLOT + [2] 进行交叉定年, 确保每一生长年轮具有准确的日历年龄. 之后, 在精度为 0.01 mm 的 Velmax_1 测宽仪上逐芯逐轮测定年轮宽度. 根据量测结果, 采用 COFECHA^[3] 计算机程序进行交叉定年的质量控制. 结果表明, 呼和浩特组全部样本总共缺轮数 62 轮, 占全部轮数的 1.049%. 统计特征中各序列与主序列相关系数(r) 范围为 0.354~0.770, 均值 0.56; 平均敏感度(ms) 为 0.221~0.501, 均值 0.352; 自相关系数为 0.356~0.909, 均值 0.75. 反映出该组树木群体受气候因素控制较为强烈, 各样本宽度序列中明显保留着树木前期生长的滞后效应, 当年的树木生长会影响树木未来的生长.

2 年表的建立

树轮宽度年表的建立通过 ARSTAN^[4] 程序完成, 这一过程中消除了: (1) 树木生长中与年龄增长相关联的生长趋势; (2) 部分树木之间的非一致性扰动, 排除其中非气候信号. 所建立的年表长度为 533 a, 考虑到样芯复本, 可靠长度为 376 a. 通过试用不同步长的样条函数, 对该地区而言, 如果取 55 a 步长对各个宽度序列进行拟合, 则可以保有最多的气候变化的高频信号. 而选用步长为 250 a 的样条函数进行拟合, 将会保留更多的低频信号(将在另文讨论). 本文的讨论全部基于 55 a 步长样条函数拟合的结果.

图 1 为最终建立的标准年表(STD)、差值年表(RES)和自回归标准化年表(ARS). 表 1 为 3 个年表的若干基本统计量. 表 2 为标准化序列与差值序列的统计量, 其中 A 为所有序列间的平均相关系数; B 为树与树之间的平均相关系数; C 为同株树 2 个芯之间的平均相关系数; PC1 表示第 1 主分量解释总方差的百分比. 表 1 中 RES 年表类型 1 阶自相关系数与标准差较 STD 小, 平均敏感度较大, 定量说明了 RES 年表保留的高频振荡信息比 STD 为多, 而这种振荡正是树木对当年气候环境变化的响应.

图 1 内蒙古大青山 STD, RES 和 ARS 年表

表1 STD, RES 和 ARS 年表的统计量

年表类型	平均值	中位数	平均敏感度	标准差	1阶自相关系数	偏度	峰度
STD	1.00	0.99	0.34	0.37	0.20	1.53	8.21
RES	1.00	0.98	0.37	0.36	-0.01	1.38	7.06
ARS	1.00	0.98	0.35	0.37	0.12	1.61	8.50

表2 标准化序列与差值序列的统计量

序列	A	B	C	PC1
去趋势序列	0.45	0.44	0.46	50.87
差值序列	0.48	0.47	0.49	53.40

3 气候响应分析

用于分析的气象站为采样点东北 20 km (直线距离) 的呼和浩特市气象站 (40°49' N, 111°41' E, 海拔 1 063 m), 观测资料为 1951~1996 年, 计 45 a. 气象资料使用前, 采用 Mann-Kendall^[5] 和双重量分析法 (Double mass analysis)^[6] 对该站记录进行了检验, 参考站选用包头市和固阳县站. 结果表明, 呼和浩特市温度、降水记录无随机突变和不均匀分布情况, 代表了自然界的实际变化.

年轮宽度对气候的响应, 主要通过响应函数和相关函数计算而获得. 响应函数由 PRECON^[7] 完成. 分析时段为 1952~1996 年, 气候因子选用树木生长前期 (即上 1 年 9 月) 至当年 10

图2 RES 年表的响应函数图

□□降水, □□□气温(0, □表示超过 95% 置信水平)

月的各月平均气温和降水量, 共计 28 个因子. STD, RES 和 ARS 年表对气温基本均不表现出显著响应, 但对降水呈显著响应, 且月份均集中在上 1 年 10 月和当年 2~6 月 (正响应). 3 种年表相比较, RES 年表所含气候变动的方差贡献高达 75.5%. 就其响应的月份而言, 具有明确的植物生理学意义. 图 2 为 RES 的响应函数图. 表 3 为 3 种年表分别与各月降水的相关系数.

进一步计算获得的 STD, RES 及 ARS 对 2~6 月降水的相关系数分别为 0.656, 0.669 和 0.662, 其中以 RES 最高. 这表明 RES 年表更适宜用于大青山 2~6 月份降水量重建.

表3 呼和浩特年表与降水相关函数分析结果^{a)}

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2~6	4~6
STD	-0.144	0.313	0.310	0.353*	0.390	0.271	0.106	0.184	-0.351*	-0.216	-0.206	-0.104	0.656*	0.607*
RES	-0.144	0.307	0.252	0.379*	0.372*	0.308	0.087	0.225	-0.324	-0.160	-0.247	-0.126	0.669*	0.642*
ARS	-0.124	0.311	0.285	0.377*	0.379*	0.282	0.121	0.213	-0.347*	-0.213	-0.206	-0.132	0.662*	0.622*

a) 表内* 表示该值超过了 99% 的置信水平

4 气候重建

图 3 为经过标准化后的 RES 年表与 2~6 月降水距平的比较. 因为气象资料较短, 便采用逐一剔除法 (leave_one_out)^[8] 检验. 结果相关系数 r 值变幅稳定可靠, 同时表明 1965 年较为异

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb1999-44-18-1986>

常,这一年内蒙古地区出现较大范围的春夏连旱,为多年少见^[9, 10]. 可见 RES 年表对春夏连旱反映并不敏感. 移去 1965 年后,经计算,相关系数提高到 0.712,校准方差达到 50.70%. 在用树轮资料进行古气候重建时,常考虑采用多元逐步回归技术,使得重建更为精确一些. 经典的树轮气候学认为 t 年的年轮在形成时,它不仅受到当年气候的占统治地位的影响,还受到上 2 年($t-1$, $t-2$)的滞后效应^[11].

图3 RES(实线)与2~6月降水距平(虚线)的比较

基于这点,我们在 RES 年表(此处称为 $RES_{(t)}$)的基础上,制做了另两个年表, $RES_{(t-1)}$ (前1年)和 $RES_{(t-2)}$ (前2年). $RES_{(t)}$ 与 $RES_{(t-1)}$, $RES_{(t-2)}$ 的相关系数分别为 -0.04 和 -0.08, 三者不存在显著相关,这种情况正是较为理想的使用多元回归的先决条件^[4]. 最终的转换函数因此设计为

$$R_{26} = 1\,325.14RES_{(t)} + 274.01RES_{(t-1)} - 151.23RES_{(t-2)} - 371.47,$$

这一函数式的复相关系数为 0.75, 方差解释量为 56%, 调整后为 53%, F 检验值为 16.73, P 小于 0.000 01. 就其方差解释量而言,较简单回归有显著提高.

图4为重建的 1620~1996 年(376 年)时段内呼和浩特地区春季至夏初(2~6 月)的降水变化时间序列.

图4 呼和浩特地区 1620~1996 年春季至夏初(2~6 月)的降水重建

图4中粗线为 13 年滑动平均值,目的在于强调 10 年尺度的变化. 图4所展示的数据表明树轮重建值在高频与低频变化方面与现代观测值(图中右部细线)有相当好的一致性和精确性. 但两者之间仍有差别. 重建的 2~6 月降水总量的极大值与极小值并不能在振幅上完全与观测值重合,这反映出我们所采用的回归方程比较谨慎合理. 重建曲线有如下特点:

(1) 春至初夏旱灾频繁. 呼和浩特地区 1620 年以来(376 年间), 2~6 月降水在 50 mm 左右的有 36 年(约占全部年份的 9%), 降水 > 150 mm 的年有 34 年, 约占 9%.

(2) 值得指出的是重建图反映的历史上几次特大(春至初夏)连旱的年份有: 1628, 1727~

1728, 1740, 1792, 1839~ 1840, 1867, 1877, 1891~ 1892, 1900 和 1928~ 1929 等 9 年(段). 1929 年之后呼和浩特地区特大旱情况再未超出上述年份.

(3) 呼和浩特地区 2~ 6 月自 1975 年以后年际间降水变率明显增大, 与历史上 1726~ 1744 年时段颇为相象.

(4) 功率谱分析表明, 呼和浩特地区 2~ 6 月降水含有 40, 5. 33, 5. 10, 4. 55 和 2. 09, 2. 03 年的显著周期.

呼和浩特地区的重建时段主要是春、夏初, 而这一时间的干旱对农牧业生产有最直接、最严重的危害. 干旱可使牧草返青推迟, 从而影响产量. 严重干旱时造成饥荒, 而形成灾年. 历史上对此多有记载.

5 树轮重建值精确性的检验

56% 解释方差量表明树轮数据可以在很大程度上有效地解释大青山地区 2~ 6 月降水的实际值. 除了上述的实测值与重建值对比以及逐一剔除法以外, 我们还采用下述方法来检验树轮气候重建值的可靠性与精确性:

(1) 符号检验(sign test)^[12, 13]: 结果表明, 在 45 年观测中, 2~ 6 月降水变化的高频(A) 和低频(B) 变化均达到了 0. 01 置信水平所要求的年数(表 4).

表 4 2~ 6 月降水的符号检验结果^{a)}

	n	$n_a(1) 95\%$	$n_b(2) 99\%$
A	35	30	32
B	37	31	33

a) 数据长度原始值 $n = 44$, 1 阶 $n' = 43$

(2) 误差缩减(RE)^[12]: 此为普遍应用的精确检验气候重建值可靠性的统计量. 取值在 $[-\infty, 1]$, 其值越大证明重建越可靠. 此研究中的 RE 为 0. 39, 取值较理想.

(3) 乘积平均数(product mean, t) 检验^[12]: 用以检验重建序列和实测序列间同号年与异号年之间在量值上是否存在显著差异. 此研究中 $t = 2. 83$, 表明 2~ 6 月降水重建序列与实测序列十分接近.

(4) 历史记录: 除了以上数理统计检验外, 历史记录也可以从另一个方面佐证本文重建的可靠性. 图 5 为重建值与旱涝记载的对比. 旱涝指数引自文献[14].

可以看出, 两条曲线无论是年际间的高频振荡还是 10 a 尺度间的低频变化, 均有相当好的一致性. 历史记载^{1), 2)} 的旱涝年份在重建序列中均有所反映. 如较严重的早年记载有:

1877 年, 呼和浩特、包头等. 特大干旱, 一年无雨.

1878 年, 土默川右旗, 呼和浩特、包头大旱灾.

1892 年, 呼和浩特、包头、土默川右旗大旱灾, 入春至夏无雨, 不能下种, 秋收无望. 全境赤地千里.

1900 年, 土默川左旗、包头特大旱, 春夏秋旱, 颗粒不收, ...

1928 年, 呼和浩特, 旱.

1929 年, 内蒙古大部, 旱荒至, 延长 4 年之久, 本年春夏滴雨未落, 禾皆枯死, 寸草不生.

1) 内蒙古自治区历代灾害史. 内蒙古自治区参事室编, 1976

2) 内蒙古及临近地区气象灾害旱涝丰欠年表. 内蒙古自治区气象科学研究所编, 1975

图5 2~6月降水重建距平与旱涝指数的对比

旱涝等级划分: 1——涝, 2——偏涝, 3——正常, 4——偏旱, 5——旱

以上这些检验从不同方面证明了本文所用树轮资料重建的可靠性。

至于这一地区干旱成因,目前是一个很复杂的问题。从宏观上讲,这一地区属温带大陆性气候,海拔在1 000 m以上,远离海洋,冬季常受寒冷的气团控制;夏季副热带高压北抬,南来水汽逐渐增多,雨水相对较多,但又常因冷空气活动偏北,冷暖空气在这一地区交汇的机会不多,多数时间受副热带和大陆高压影响,干旱少雨。有时受蒙古冷涡控制,多雷阵雨,雨量不均;有时受西来天气系统影响,又因影响部位不同,产生较大范围降雨的机会也不甚多^[10]。由于受地理位置和大气环流的基本背景的影响,造成了上述地区降水量偏少,易于出现干旱的情况。

致谢 研究中曾同安芷生院士、吴国雄教授、王绍武教授进行了有益的讨论,邵雪梅教授提供功率谱计算程序,作者在此一并表示衷心感谢。本工作为国家自然科学基金“九五”重大基金(批准号:49894170)、中国科学院“九五”重点项目(批准号:KZ_952_S1_419)、中国科学院“九五”重大项目(批准号:KZ951_A1_402)资助。

参 考 文 献

- 1 王文辉. 内蒙古气候. 北京: 气象出版社, 1990. 1~ 273
- 2 Stokes M A, Smiley T L. An introduction to tree-ring dating. Chicago: University of Chicago Press, 1968. 1~ 73
- 3 Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-ring Bulletin, 1983, 43: 69~ 75
- 4 Cook E R, Kairiukstis L A. Methods of dendrochronology. The Netherlands, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. 1~ 200
- 5 Mann H B. Non-parametric test against trend. Econometrika, 1945, 13: 245~ 259
- 6 Kohler M A. On the use of double-mass analysis for testing the consistency of meteorological records and for making required adjustments. Bull Amer Meteorol Soc, 1949, 30: 188~ 189
- 7 Fritts H C, Shashkin A V. Modeling tree-ring structure as related temperature, precipitation, and day length. In: Lewis T E, ed. Dendrochronology and dendrochemistry in forest health monitoring. CRC Press, Cleveland, USA, 1991. 1~ 39
- 8 Mosteller F, Tukey J W. Data analysis and regression. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1977. 1~ 588
- 9 王长根. 内蒙古气候热点及对策研究. 北京: 气象出版社, 1997. 1~ 168
- 10 吴鸿宾. 内蒙古自治区主要气象灾害分析(1947~ 1987). 北京: 气象出版社, 1990. 1~ 219

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb1999-44-18-1986>

- 11 Fritts H C. Tree ring and climate. London: Academy Press, 1976. 1~ 567
- 12 Fritts H C. Reconstructing large_scale climatic patterns from tree_ring data. Tucson, Arizona: The University of Arizona Press, 1991. 1~ 286
- 13 刘禹, 邵雪梅, 吴祥定, 等. 树轮密度、稳定 C 同位素对过去 100 年陕西黄陵的季节气温与降水的恢复. 中国科学, D 辑, 1997, (27) 3: 271~ 277
- 14 中央气象局气象科学研究所主编. 中国近五百年旱涝分布图集. 北京: 地图出版社, 1981. 1~ 332

(1999-08-02 收稿)

桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征

李献华^④ 周汉文^(四) 刘颖 李寄嶠^(四)
孙敏^④ 陈正宏^(四)

(中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; ④香港大学地球科学系, 香港薄扶林道;

(四)台湾大学地质学系, 台北 106-17)

摘要 野外地质、岩石学、元素地球化学研究表明, 广西东南部中生代二长岩、正长岩以及与之共生的碱性花岗岩岩体属钾玄质系列岩石, 从而厘定出一北东向展布的钾玄质侵入岩带. 这些钾玄质侵入岩富集大离子亲石元素、高场强元素和稀土元素, 而且无明显的 Nb, Ta 亏损, 与板内型或裂谷型钾玄岩相似, 表明其形成与岛弧无关, 而很可能是在中生代区域软流圈地幔上涌和岩石圈伸展构造背景下形成的.

关键词 钾玄质岩石 岩石学 元素地球化学 广西

钾玄质岩石 (shoshonitic rock) 是一类高碱 ($K_2O + Na_2O > 5\%$)、高 K_2O/Na_2O 比 (当 $SiO_2 = 50\%$ 和 55% 时, $K_2O/Na_2O > 0.5$ 和 1.0)、低 TiO_2 (大多数 $< 1.3\%$)、 Al_2O_3 含量高且变化范围大 (大多数介于 $14\% \sim 19\%$)、强烈富集大离子亲石元素和轻稀土元素的富碱高钾岩浆岩^[1], 包括火山岩 (橄辉安粗岩、钾玄岩、粗面粒玄岩等) 和侵入岩 (主要为钾质二长岩和正长岩). 对新生代钾玄质岩石的研究表明, 钾玄质岩石主要起源于与俯冲作用有关的富钾和大离子亲石元素交代地幔^[2~3], 一般发育于大洋岛弧, 形成时间较晚, 空间上远离海沟; 钾玄质岩石也大量形成于大陆弧和后碰撞弧环境; 只有极少数钾玄质岩石产于板内环境^[4], 因此, 钾玄质岩石在成因岩石学和区域构造演化 (特别是古构造重建) 研究中都具有特殊的意义. 同时, 钾玄质岩石与中温热液型金矿和斑岩型铜、金矿等金属矿床在时间和空间上密切共生^[4,5], 对其研究不仅具有潜在的经济地质意义, 而且在某种意义上, 钾玄质岩石已成为重要的找矿岩石学标志.

最近, 我们在桂东南地区进行中生代岩浆岩研究中, 陆续发现一些钾玄质侵入岩, 并在此基础上初步厘定出一钾玄质侵入岩带. 本文将报道该钾玄质侵入岩带的基本特征和初步的岩石地球化学研究成果.