



## 辽宁北部地区下白垩统木化石及其古气候意义

丁秋红, 李晓海, 李文博, 张志斌, 陈树旺, 张 健, 孙守亮, 张渝金

中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

**摘 要:** 对辽宁北部地区下白垩统沙海组木化石进行的木材解剖学及系统分类学研究显示, 木化石均为硅化保存的松柏类裸子植物次生木质部, 分别属于 *Protocupressinoxylon*、*Protopiceoxylon* 和 *Xenoxylon* 等 3 个分类群。当前木化石新材料生长轮清晰, 早晚材比率在 0.84~64 之间, 年平均敏感度在 0.23~0.3 之间, 表明气候具有明显的季节性变化; 树木生长的晚材时间短, 早材跨度时间长, 即在生长季管胞分裂旺盛, 水分、温度、湿度、光照等因素较为适宜的时间较长。连续生长轮宽度不均匀以及假轮的存在, 表明当时气候变化频繁, 年均降水量可能存在较大差异, 从生长特征整体推断, 辽宁北部地区沙海组沉积时期整体较为湿润, 但可能存在一定的干旱—半干旱的气候波动。木化石中存在假轮、创伤树脂道、生长轮扭曲、虫孔等特殊解剖构造, 揭示当时的生态环境中可能存在旱灾、风灾以及虫害等短时间内不利于树木生长的影响因素。

**关键词:** 木化石; 古气候; 下白垩统; 沙海组; 生长轮; 辽宁北部

## THE LOWER CRETACEOUS PETRIFIED WOOD IN NORTHERN LIAONING: Paleoclimatic Significance

DING Qiu-hong, LI Xiao-hai, LI Wen-bo, ZHANG Zhi-bin, CHEN Shu-wang, ZHANG Jian,  
SUN Shou-liang, ZHANG Yu-jin

Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

**Abstract:** The wood anatomy and systematics study of petrified woods from the Lower Cretaceous Shahai Formation in northern Liaoning show that the petrified woods are all silicified secondary xylem of conifer gymnosperms, belonging to the taxonomic groups of *Protocupressinoxylon*, *Protopiceoxylon* and *Xenoxylon* respectively. The growth rings of novel materials of the current petrified woods are clear, with the early wood to late wood ratio of 0.84~64, and the annual average sensitivity of 0.23~0.3, indicating that the climate has obvious seasonal variation. The trees have a short late-wood growth time and long early-wood time span, that is, the tracheid division is strong in the growing season, and the suitable time for factors such as moisture, temperature, humidity and light last longer. The uneven width of continuous growth rings and existence of false rings reflect that the climate changed frequently at that time, and the average annual precipitation may have a great difference. It can be inferred from the growth characteristics that the Shahai Formation in northern Liaoning was generally humid during the sedimentary period, but there might be some arid-semiarid climate fluctuations. The special anatomical structures in petrified woods such as false ring, traumatic resin canal, twisted growth ring and insect hole reveal that there may be drought, wind disaster and insect pests in the then eco-environment, which are unfavorable for the growth of trees in a short time.

**Key words:** petrified wood; paleoclimate; Lower Cretaceous; Shahai Formation; growth ring; northern Liaoning

收稿日期: 2021-02-02; 修回日期: 2021-03-24. 编辑: 黄欣.

基金项目: 国家自然科学基金项目“松辽盆地及邻区早白垩世陆相地层高精度年代格架”(编号 41790451); “大兴安岭中南部中侏罗世植物群及地层新探”(编号 42172024); 中国地质调查局项目“松辽盆地北部及外围石炭—二叠系油气地质调查”(编号 DD20190097).

作者简介: 丁秋红(1964—), 女, 博士, 研究员, 从事中生代地层古生物研究及油气地质调查工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//1109251593@qq.com

## 0 引言

木化石是生长在地质历史时期的植物保存在地层中的植物茎干经过特殊的矿化作用而成。保存较好的木化石具有清晰的木材解剖结构特征,如横切面的生长轮(年轮)有较长的时间跨度,包括一个至多个生长季的管胞。现代植物解剖学研究表明,植物维管形成层细胞切向分裂形成次生木质部,形成层细胞活动包括产生细胞的数量、大小、壁厚等,随着气候的交替和环境的改变而有规律地变化,因而木材解剖结构可以直接反映植物生长期间气候和环境的变化<sup>[1-3]</sup>。现代树木生长轮气候学的发展,为通过木化石解剖结构分析古气候变化提供了可能<sup>[4-7]</sup>。木化石的研究不仅可以帮助我们了解地质历史时期植物群的组成特征,而且可以提供有关陆相古气候变化的重要信息。本研究通过木化石切片法,对产自辽宁北部法库地区下白垩统沙海组的木化石进行解剖构造学研究。基于对木化石生长轮特征的分析,利用相关参数,分析沙海组沉积时期的古气候和古环境特征。辽北木化石新材料的发现既丰富了区域古生物化石资料,又揭示了该地区早白垩世古气候演化特征,为研究区的油气地质调查工作提供可利用的地质资料依据。

## 1 地质背景

研究区下白垩统自下而上发育义县组、九佛堂组、沙海组,以陆相盆地沉积为特征。沙海组主要出露在法库地区西北部,地表多呈 NE 向条带状分布,受 NE 向断裂控制明显,平行不整合于义县组之上,为一套以河流相沉积为主夹湖泊相沉积的地层,岩性主要由灰黄色-灰绿色复成分砾岩、长石砂岩、泥岩及粉砂岩组成,局部夹煤层、油页岩,产木化石,钻孔资料揭示本组厚 786 m。

## 2 木化石解剖特征

本研究木化石材料采集于辽宁北部法库地区(图 1),化石产出层位为下白垩统沙海组。野外采集的木化石主要为木化石碎块,未见大型木材茎干化石。对 16 件保存较好的木化石制作了三向切片(横切面、径切面和弦切面),经系统鉴定,当前木化石均为硅化保存的次生木质部,未见髓及初生木质部。基于次生木质部解剖特征分析,上述化石分属 *Protocupressinoxylon*

(原始柏型木)、*Protopicexylon* (原始云杉型木)和 *Xenoxylon* (异木)3 个分类群。

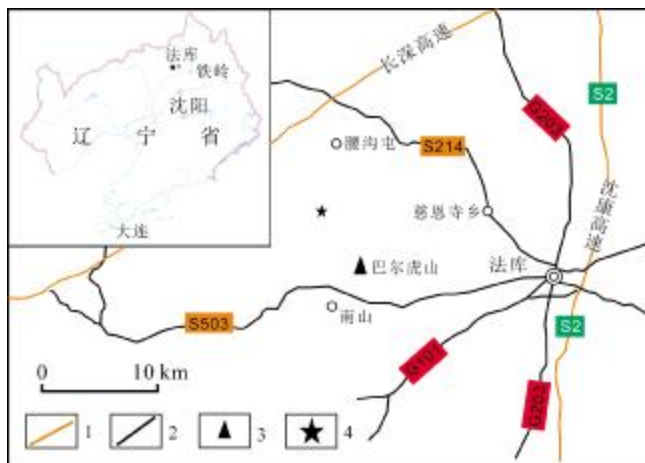


图 1 辽宁北部地区木化石采集点地理位置图

Fig. 1 Geographical location map of petrified wood sampling sites in northern Liaoning

1—高速公路(highway);2—省道(road);3—山峰(mountain);4—采样点(sampling site)

## 2.1 原始柏型木

原始柏型木(未定种) *Protocupressinoxylon* sp.

标本编号: HGZ6(图 2)

化石保存为次生木质部,未见髓部。横切面:生长轮明显,早晚材过渡类型为急变式(Abrupt Transition);早材管胞横切面多数为径向伸长的长方形( $20\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m} \sim 30\ \mu\text{m} \times 40\ \mu\text{m}$ ),晚材带较窄,仅由 1~2 层细胞组成,管胞横切面呈压扁的椭圆形;木射线线型,两条相邻的射线之间间隔 1~5 个管胞。径切面:具缘纹孔单列至双列,双列者互生,排列不紧密,纹孔口扁圆形—圆形;交叉场纹孔 1~4 个,单个纹孔呈柏木型,彼此分离,往往排成一行;木射线细胞水平壁及端壁平滑,未见冷杉式壁孔。弦切面:木射线多数单列,仅局部双列射线,单列射线(2~)7~16(~38)个细胞高,细胞形态多呈椭圆形,射线细胞大小约  $15\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m} \sim 20\ \mu\text{m} \times 25\ \mu\text{m}$ ,射线密度 25~32 条/ $\text{mm}^2$ ;未见弦向壁纹孔。

当前木化石标本的次生木质部特征,如具缘纹孔、木射线和交叉场纹孔的形态、类型,显示其系统分类属性应归入原始柏型木属(*Protocupressinoxylon* Eckhold<sup>[8]</sup>)。该属在我国已报道化石记录包括产自河南义马中侏罗统义马组的 *Protocupressinoxylon* sp.<sup>[9]</sup>和

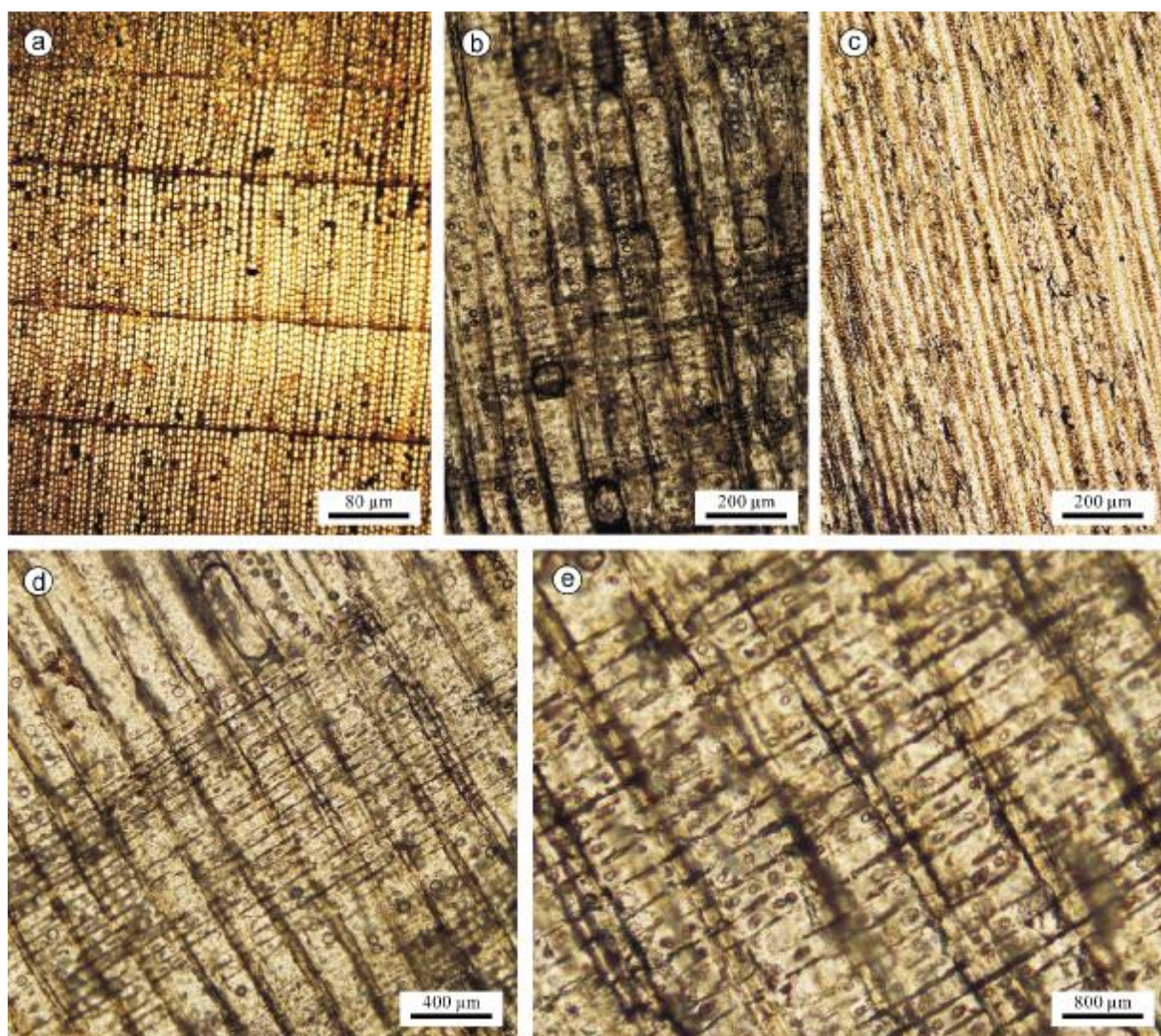


图 2 辽北地区下白垩统沙海组原始柏型木(未定种)

Fig. 2 *Protocupressinoxylon* sp. From Lower Cretaceous Shahai Formation in northern Liaoning

a—横切面,示生长轮(transverse section showing growth rings); b—径切面,示管胞具缘纹孔(radial section showing tracheid bordered pits); c—弦切面,示木射线(tangential section showing xylem rays); d、e—径切面局部放大,示交叉场纹孔(partial enlargement of radial section showing cross-field pits)

黑龙江密山下白垩统城子河组的 *Protocupressinoxylon mishanense* Zheng et Zhang<sup>[10]</sup>等,时代分布从中侏罗世到早白垩世。但当前木化石标本在具缘纹孔排列方式、木射线的高度和交叉场纹孔数量等方面的特征均与上述两种存在差异。

## 2.2 原始云杉型木

原始云杉型木(未定种) *Protopiceoxylon* sp.

标本编号: HGZ5(图 3)

化石保存为次生木质部,未见髓部。横切面:生长轮受外力挤压变形扭曲,生长轮明显;早晚材过渡类型为渐变式,早材管胞横切面多数为径向伸长的方圆

形—多边形( $20\text{ }\mu\text{m}\times 30\text{ }\mu\text{m}\sim 30\text{ }\mu\text{m}\times 40\text{ }\mu\text{m}$ ),晚材带 10~12 层细胞组成,管胞横切面呈压扁的椭圆形—长方形;见创伤树脂道;木射线线型,两条相邻的射线之间间隔 2~6 个管胞。径切面:管胞宽  $40\sim 60\text{ }\mu\text{m}$ ;管胞径壁具缘纹孔为单列式,纹孔呈微压的扁圆形,紧接排列,具缘纹孔直径  $20\sim 30\text{ }\mu\text{m}$ ,纹孔口圆形;交叉场纹孔柏木型,每场多数 1 个,偶见 2 个;木射线细胞水平壁具冷杉式纹孔。弦切面:木射线单列,(2~)8~18(~32)个细胞高,细胞形态多呈椭圆形,射线细胞大小约  $15\text{ }\mu\text{m}\times 20\text{ }\mu\text{m}\sim 20\text{ }\mu\text{m}\times 25\text{ }\mu\text{m}$ ;射线密度  $23\sim 28\text{ 条}/\text{mm}^2$ ;未见弦向壁纹孔,未见纵向创伤树脂道。

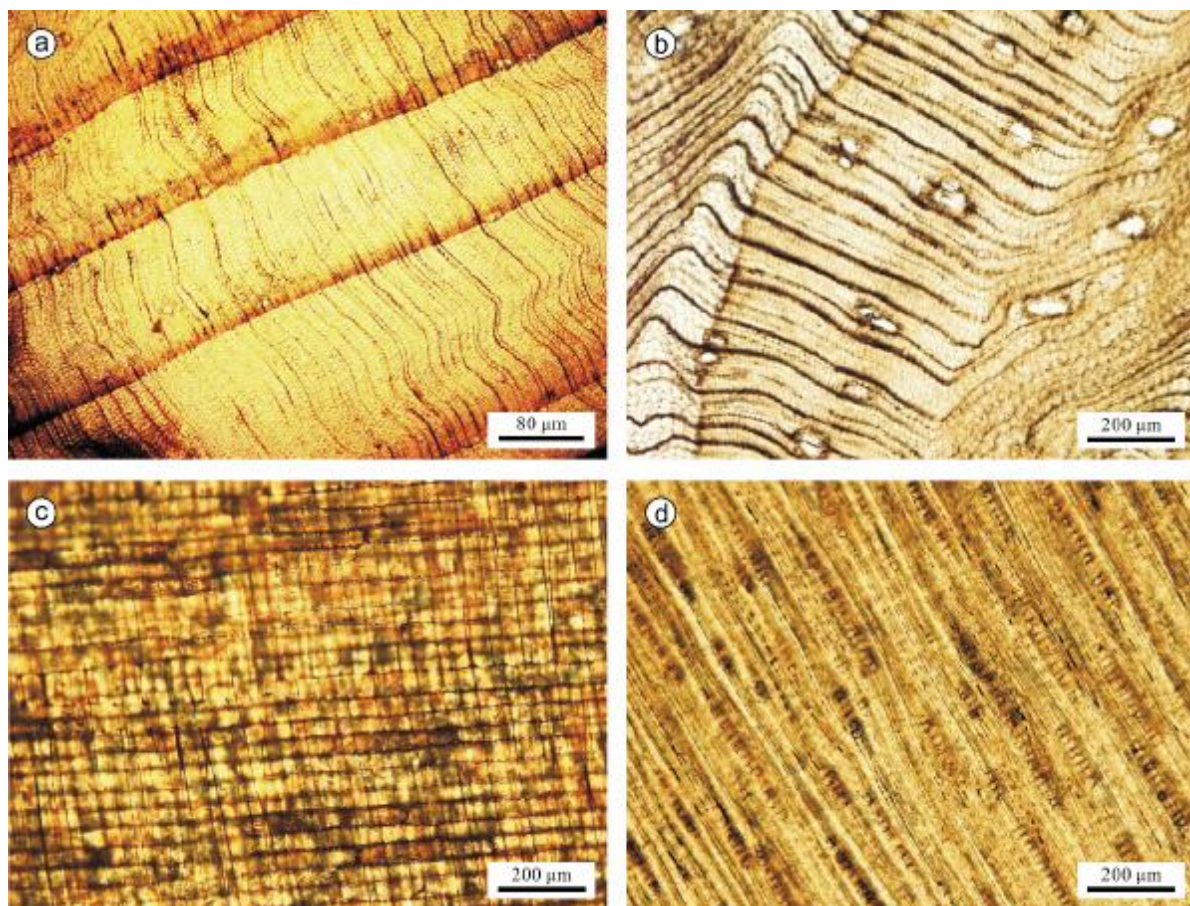


图3 辽北地区下白垩统沙海组原始云杉型木(未定种)

Fig. 3 *Protopiceoxylon* sp. From Lower Cretaceous Shahai Formation in northern Liaoning

a—横切面,示生长轮(transverse section showing growth rings); b—横切面,示创伤树脂道(transverse section showing traumatic resin canals); c—径切面,示交叉场纹孔(radial section showing cross-field pits); d—弦切面,示木射线(tangential section showing xylem rays)

当前木化石标本的次生木质部特征,如具缘纹孔、木射线和交叉场纹孔的形态、类型和数量,显示其系统分类学属性应归入原始云杉型木属(*Protopiceoxylon* Gothan<sup>[11]</sup>). 该属的化石记录在中国分布比较广泛,目前已经报道的有8种,其中 *P. extinctum* Gothan 产自河北涿鹿夏家沟上侏罗统, *P. yabei* (Shimakura) Sze 产自吉林火石岭下白垩统, *P. dakotense* (Knowlton) Sze 产自辽宁本溪下白垩统<sup>[11]</sup>, *P. amurense* Du 产自黑龙江嘉荫下白垩统宁远村组<sup>[12]</sup>, *P. xinjiangense* 产自新疆奇台上侏罗统石树沟群<sup>[13]</sup>, *P. chaoyangensi* Duan 产自辽宁朝阳、义县中侏罗统髫髻山组<sup>[14]</sup>, *P. moheense* Ding 产自黑龙江下白垩统漠河九峰山组<sup>[15]</sup>, *P. yizhouense* Duan et Cui 产自辽宁下白垩统义县沙海组<sup>[16]</sup>. 在我国,已知种的时代分布从中侏罗世至早白垩世,但当前木化石标本次生木质部的具缘纹孔形态、排列方式,交叉

场纹孔形态、数量,木射线单列及数量等特征均与已知种不同.

### 2.3 宽孔异木

宽孔异木 *Xenoxylon latiorosum* (Gramer) Gothan 标本编号: HGZ2(图4)

化石保存为次生木质部,未见髓部. 横切面:生长轮受外力挤压变形,生长轮明显,存在假轮,早晚材过渡类型为渐变式;早材管胞横切面多数为径向伸长长方形(20 μm×30 μm~30 μm×40 μm),晚材带1~4层细胞组成,管胞横切面呈压扁的椭圆形;木射线线型,两条相邻的射线之间间隔2~6个管胞. 径切面:管胞宽60~80 μm;具缘纹孔单列;单列具缘纹孔为微压扁圆形,紧接排列;具缘纹孔直径20~30 μm,纹孔口圆形;交叉场纹孔1个,偶见2个,具有清楚的斜向伸长轴的椭圆形或宽卵形纹孔;木射线细胞水平壁及端壁

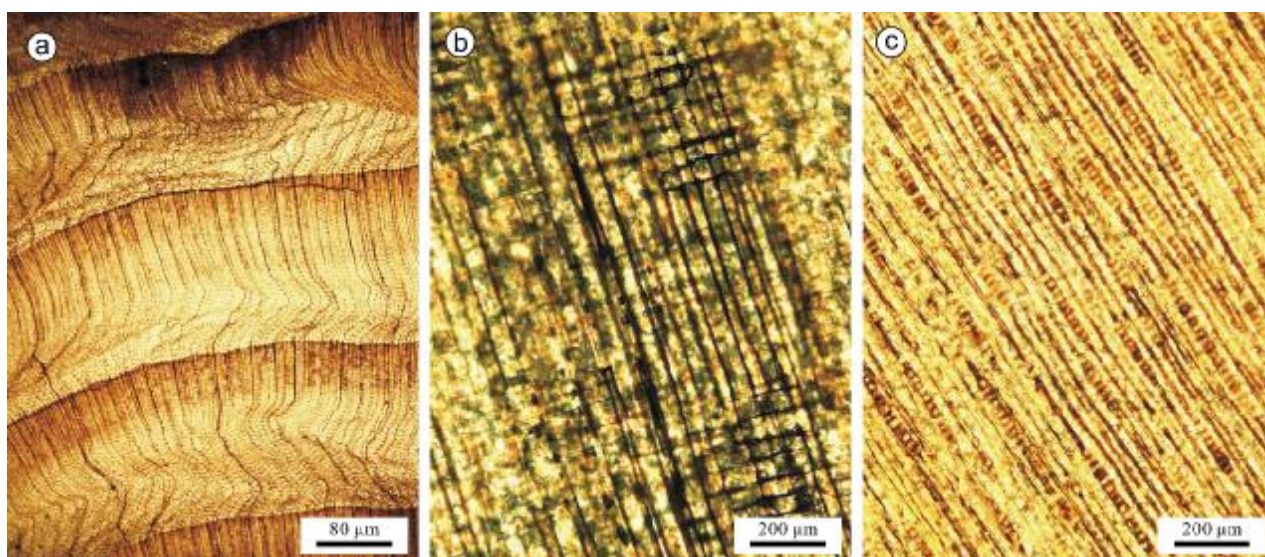


图 4 辽北地区下白垩统沙海组宽孔异木

Fig. 4 *Xenoxylon latiorosum* (Gramer) Gothan from Lower Cretaceous Shahai Formation in northern Liaoning

a—横切面,示生长轮(transverse section showing growth rings); b—径切面,示交叉场纹孔(radial section showing cross-field pits); c—弦切面,示木射线(tangential section showing xylem rays)

平滑。弦切面:木射线单列或局部双列射线,单列射线(2~)7~18(~27)个细胞高,细胞形态多呈椭圆形,射线细胞大小约  $15\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m} \sim 20\ \mu\text{m} \times 25\ \mu\text{m}$ ;射线密度 7~17 条/mm<sup>2</sup>;未见弦向壁纹孔。

当前木化石标本的次生木质部特征,如具缘纹孔、木射线和交叉场纹孔的形态、类型和数量,显示其分类学属性应归入异木属(*Xenoxylon* Gothan)<sup>[11]</sup>,其特征与已知种 *Xenoxylon latiporosum* (Gramer) Gothan 一致。异木属是中生代木化石的重要组成分子,广泛分布于北半球中—高纬度地区。目前,该属在世界范围内已报道超过 30 种,其中在我国报道的化石记录有 14 种,时代分布从晚三叠世至晚白垩世<sup>[17-18]</sup>。

### 3 古气候和古环境分析

在实验室对木化石横切面进行切片,根据生长轮特征(包括宽度、细胞个数、早材细胞平均大小、早晚材比率等 4 个指标),采用木化石的年敏感度(AS)和平均敏感度(MS)等相关参数,对辽宁北部地区下白垩统沙海组沉积时期的古气候和古环境特征进行分析。

#### 3.1 早晚材比率

早晚材比率(E/L)是指同一生长轮内生长早期形成的细胞宽度与末期的宽度之比。早材的细胞直径较大,细胞壁较薄;而晚材的细胞则较小,壁较厚。木化

石的生长轮分析中,一般认为生长轮越宽,所指示的气候越温暖,因为在树木生长季,温暖适宜的温度会加快形成层的生长,从而使得生长轮中细胞个数变多,早材细胞直径变大。一个较长较有利的生长季将导致一个生长轮中早晚材的比率较高<sup>[19]</sup>。

辽北地区沙海组产出的木化石均具有明显的生长轮,一般早材带较宽,晚材带很窄;每一轮早材带与晚材带的宽度之比相差非常悬殊,早晚材比率变化幅度在 0.84~64 之间。从木化石连续生长轮宽度的变化情况看,在连续生长轮中,往往存在个别宽度较窄的生长轮,其宽度仅为最宽生长轮宽度的 1/3~1/4(图 5)。这些特征表明:这些木材所生长的气候具有明显的季节性变化;早材时间跨度长表明管胞分裂旺盛,水分、温度、湿度、光照等因素较为适宜的时间较长;生长轮宽窄不一的出现表明气候可能存在一定的年际变化,即其年均温或年降水量存在一定的差异。此外,狭窄生长轮的出现可能反映了不适宜条件的出现,如气候变干旱,降水量减少,光照降低等导致树木生长变缓。

#### 3.2 年敏感度和平均敏感度

年敏感度(AS)可以用来衡量生长轮的宽度和树木生长环境的变化。平均敏感度(MS)反映树木生长各年水分条件的变化,是气候变化的重要指标,其计算公式如下:

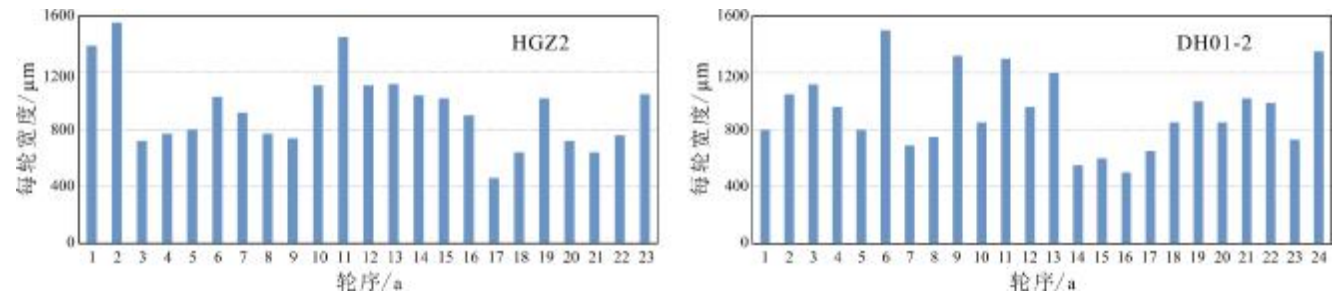


图 5 辽北地区下白垩统沙海组木化石生长轮宽度连续统计直方图

Fig. 5 Histograms showing the frequency distribution of growth ring width of petrified woods

表 1 下白垩统沙海组木化石生长轮数据

Table 1 Data for growth rings of petrified woods from Lower Cretaceous Shahai Formation

| 标本<br>编号 | 轮序 | 每轮宽<br>度/μm | 早晚材<br>比率 | 年敏感<br>度(AS) | 平均敏感<br>度(MS) | 标本<br>编号 | 轮序 | 每轮宽<br>度/μm | 早晚材<br>比率 | 年敏感<br>度(AS) | 平均敏感<br>度(MS) | 标本<br>编号 | 轮序 | 每轮宽<br>度/μm | 早晚材<br>比率 | 年敏感<br>度(AS) | 平均敏感<br>度(MS) |
|----------|----|-------------|-----------|--------------|---------------|----------|----|-------------|-----------|--------------|---------------|----------|----|-------------|-----------|--------------|---------------|
| HGZ1     | 1  | 1140        | 1.53      | 0.40         | 0.25          | HGZ2     | 1  | 1390        | 1.48      | 0.11         | 0.23          | DH01-2   | 1  | 800         | 39.00     | 0.27         | 0.3           |
|          | 2  | 760         | 2.17      | 0.10         |               |          | 2  | 1550        | 1.77      | 0.73         |               |          | 2  | 1050        | 51.50     | 0.06         |               |
|          | 3  | 690         | 1.46      | 0.56         |               |          | 3  | 720         | 1.77      | 0.07         |               |          | 3  | 1120        | 55.00     | 0.15         |               |
|          | 4  | 1230        | 2.42      | 0.02         |               |          | 4  | 770         | 1.96      | 0.04         |               |          | 4  | 960         | 47.00     | 0.18         |               |
|          | 5  | 1250        | 1.91      | 0.08         |               |          | 5  | 800         | 1.86      | 0.25         |               |          | 5  | 800         | 25.67     | 0.61         |               |
|          | 6  | 1360        | 1.57      | 0.13         |               |          | 6  | 1030        | 1.29      | 0.11         |               |          | 6  | 1500        | 74.00     | 0.74         |               |
|          | 7  | 1550        | 1.50      | 0.31         |               |          | 7  | 920         | 2.29      | 0.18         |               |          | 7  | 690         | 33.50     | 0.08         |               |
|          | 8  | 2120        | 2.16      | 0.27         |               |          | 8  | 770         | 2.21      | 0.04         |               |          | 8  | 750         | 36.50     | 0.55         |               |
|          | 9  | 1620        | 1.35      | 0.38         |               |          | 9  | 740         | 2.08      | 0.40         |               |          | 9  | 1320        | 43.00     | 0.43         |               |
|          | 10 | 1100        | 1.89      | 0.10         |               |          | 10 | 1110        | 2.47      | 0.27         |               |          | 10 | 850         | 20.25     | 0.42         |               |
|          | 11 | 1000        | 1.00      | 0.84         |               |          | 11 | 1450        | 2.02      | 0.27         |               |          | 11 | 1300        | 7.13      | 0.30         |               |
|          | 12 | 2440        | 2.49      | 0.15         |               |          | 12 | 1110        | 1.92      | 0.01         |               |          | 12 | 960         | 3.80      | 0.22         |               |
|          | 13 | 2100        | 2.39      | 0.16         |               |          | 13 | 1120        | 1.95      | 0.07         |               |          | 13 | 1200        | 11.00     | 0.74         |               |
|          | 14 | 2470        | 2.01      | 0.03         |               |          | 14 | 1040        | 2.25      | 0.02         |               |          | 14 | 550         | 3.58      | 0.09         |               |
|          | 15 | 2390        | 2.23      | 0.18         |               |          | 15 | 1020        | 2.00      | 0.13         |               |          | 15 | 600         | 14.00     | 0.18         |               |
|          | 16 | 2850        | 1.91      |              |               |          | 16 | 900         | 1.00      | 0.65         |               |          | 16 | 500         | 24.00     | 0.26         |               |
| HGZ6     | 1  | 1740        | 57.00     | 0.29         | 0.27          |          | 17 | 460         | 0.84      | 0.33         |               |          | 17 | 650         | 15.25     | 0.27         |               |
|          | 2  | 1300        | 64.00     | 0.55         |               |          | 18 | 640         | 1.00      | 0.46         |               |          | 18 | 850         | 41.50     | 0.16         |               |
|          | 3  | 740         | 23.67     | 0.01         |               |          | 19 | 1020        | 1.13      | 0.34         |               |          | 19 | 1000        | 49.00     | 0.16         |               |
|          | 4  | 730         | 35.50     | 0.10         |               |          | 20 | 720         | 1.12      | 0.12         |               |          | 20 | 850         | 20.25     | 0.18         |               |
|          | 5  | 660         | 32.00     | 0.35         |               |          | 21 | 640         | 2.56      | 0.17         |               |          | 21 | 1020        | 24.50     | 0.03         |               |
|          | 6  | 940         | 30.33     | 0.56         |               |          | 22 | 760         | 2.45      | 0.32         |               |          | 22 | 990         | 48.50     | 0.30         |               |
|          | 7  | 530         | 25.50     | 0.17         |               |          | 23 | 1050        | 3.57      |              |               |          | 23 | 730         | 35.50     | 0.60         |               |
|          | 8  | 630         | 30.50     | 0.16         |               |          |    |             |           |              |               |          | 24 | 1350        | 32.75     |              |               |
|          | 9  | 740         | 36.00     |              |               |          |    |             |           |              |               |          |    |             |           |              |               |

$$AS=|2(X_{t+1}-X_t)/(X_{t+1}+X_t)|$$

$$MS=\frac{1}{n-1}\sum_{t=1}^n|2(X_{t+1}-X_t)/(X_{t+1}+X_t)|$$

其中,  $X$  为生长轮宽度,  $t$  为生长轮序号,  $n$  为生长轮总数.

前人研究结果表明, 大多数树木的平均敏感度 (MS) 在 0~0.6 之间. MS 小于 0.3 则为水分条件满足, 表明树木生长在年降水量或水供应较均匀的环境下; MS 大于 0.3 则为水分条件敏感, 表示树木生长过程中各年的水分条件变化较大, 表明这些树木的生长环境不规律<sup>[20]</sup>.

根据上述计算公式研究结果, 笔者对当前木化石生长轮的解剖结构特征进行了测量和计算 (表 1). 结果表明, 当前各种木化石的平均敏感度在 0.23~0.30 之间, 树木生长在年降水量或水供应敏感的环境下, 树木生长过程中各年的水分条件变化较大.

3.3 特殊解剖构造

木化石存在一些特殊解剖构造, 如: 假轮、创伤树脂道、生长轮扭曲、虫孔等, 都指示了古生态环境中某种短时的扰动影响树木的生长 (图 6).

(1) 假轮 (图 6a): 表明树木生长季节性暂停或暂缓, 在干旱的气候条件下极容易形成假轮. 在生长季节树木受到病虫害、严重干旱、台风吹断粗大枝条等均可造成树木停止生长.

(2) 创伤树脂道 (图 6b): 茎干在受外界刺激 (如风、雷电、冰雹等伤害) 影响下, 在其木材中很容易形成创伤树脂道.

(3) 生长轮扭曲 (图 6c): 横切面生长轮有规律地扭曲, 存在生长轮扭曲的横切面也可见创伤树脂道, 推测其成因与风灾有关.

(4) 虫孔 (图 6d): 多为昆虫活动留下的孔洞.

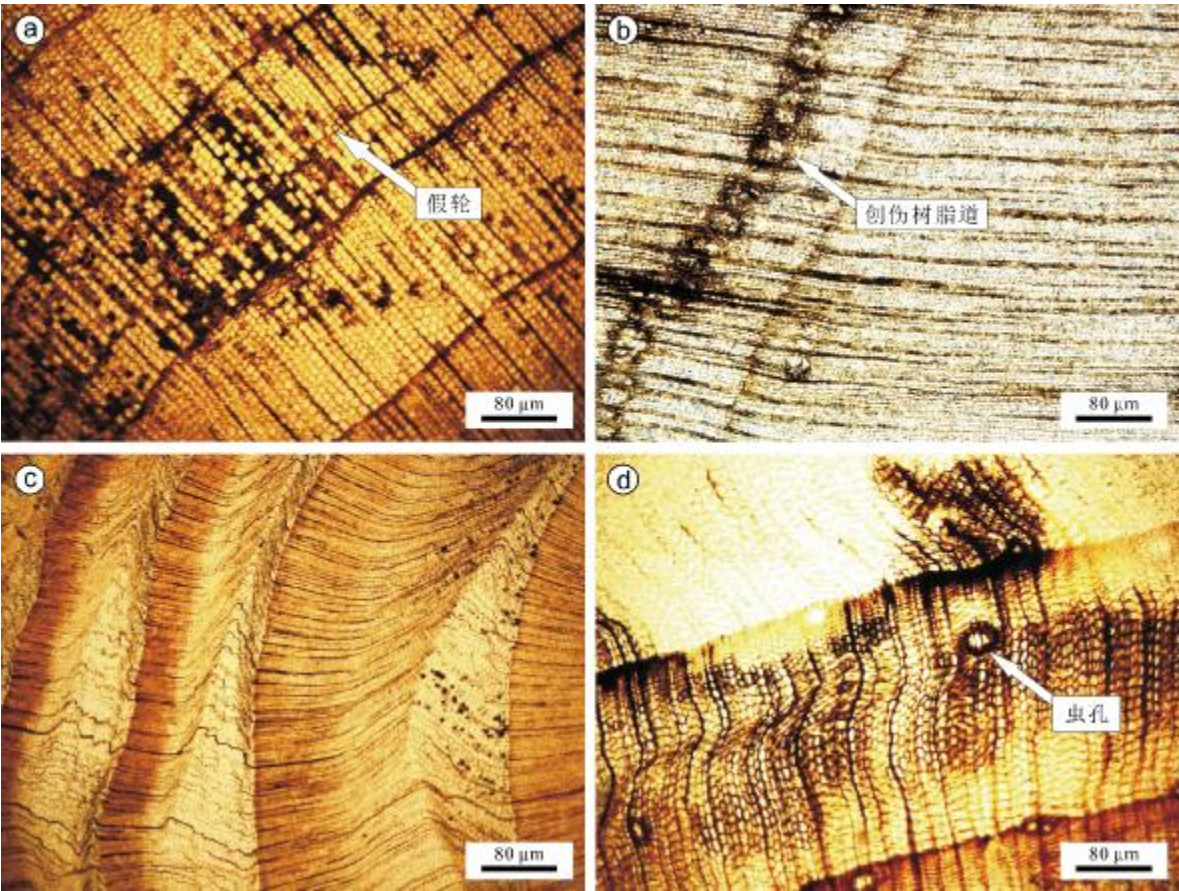


图 6 辽北地区下白垩统沙海组木化石的特殊解剖构造

Fig. 6 Special anatomical structure of petrified woods from Lower Cretaceous Shahai Formation

a—假轮(false growth ring); b—创伤树脂道(trauamatic resin canal); c—生长轮扭曲(twisted growth ring); d—虫孔(insect hole)

#### 4 结论

(1)产自辽宁北部法库地区下白垩统沙海组的木化石均为硅化保存的裸子植物次生木质部,其属级分类群分别属于 *Protocupressinoxylon*、*Protopiceoxylon* 和 *Xenoxylon*。

(2)木化石生长轮清晰,早晚材比率在 0.84~64 之间,平均敏感度在 0.23~0.3 之间,表明树木生长在年降水量或水供应较均匀的环境下,气候具有明显的季节性。连续生长轮宽窄不一的出现反映气候有波动,每年的温度、水分等的变化造成连续生长轮不均匀。

(3)木化石中存在假轮、创伤树脂道、生长轮扭曲、虫孔等特殊解剖构造,揭示了古生态环境中存在旱灾、风灾以及虫害等短时间内不利于树木生长的影响因素。

致谢:本文木化石切片由中国地质调查局沈阳地质调查中心李莉工程师制作,在此深表感谢!

#### 参考文献(References):

- [1]沈显生. 生命科学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-514.  
Shen X S. Introduction to life sciences [M]. Beijing: Science Press, 2007: 1-514.
- [2]吴祥定. 树木年轮与气候变化[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 1-365.  
Wu X D. Tree rings and climate change [M]. Beijing: Meteorological Press, 1990: 1-365. (in Chinese)
- [3]吴祥定, 邵雪梅. 中国树木年轮气候学研究动态与展望[J]. 地球科学进展, 1993, 8(6): 31-35.  
Wu X D, Shao X M. Status of dendroclimatological study and its prospects in China[J]. Advance in Earth Sciences, 1993, 8(6): 31-35.
- [4]Francis J E. Growth rings in Cretaceous and Tertiary wood from Antarctica and their palaeoclimatic implications [J]. Palaeontology, 1986, 29: 665-684.
- [5]Morgans H S. Lower and middle Jurassic woods of the Cleveland basin (North Yorkshire), England[J]. Palaeontology, 1999, 42(2): 303-328.
- [6]Falcon-Lang H J. Growth interruptions in silicified conifer woods from the Upper Cretaceous TWO Medicine Formation, Montana, USA: implications for palaeoclimate and dinosaur Palaeoecology [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2003, 199(3/4): 299-314.
- [7]王永栋, 田宁, 蒋子堃, 等. 中国中生代木化石研究新进展: 多样性变化及古气候波动[J]. 地学前缘, 2017, 24(1): 52-64.  
Wang Y D, Tian N, Jiang Z K, et al. Recent advances in Mesozoic fossil wood studies in China: diversity variations and palaeoclimate implications[J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(1): 52-64.
- [8]Eckhold W. Die Hoftüpfel bei rezenten und fossilen Koniferen [J]. Berlin: PreussGeolLandesanstJahrb, 1922, 42: 472-505. pl.8.
- [9]Zhou Z Y, Zhang B L. A sideritic Protocupressinoxylon with insect borings and frass from the Middle Jurassic, Henan, China[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 1989, 59(1/4): 133-143.
- [10]郑少林, 张武. 黑龙江省东部龙爪沟群及鸡西群植物化石[C]//中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1982: 227-349.  
Zheng S L, Zhang W. Fossil plants of the Longjogou Group and the Jixi Group in eastern Heilongjiang Province[C]//Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 1982: 227-349.
- [11]斯行建, 李星学. 中国植物化石: 第二册: 中国中生代植物[M]. 北京: 科学出版社, 1963: 316-429.  
Si X J, Li X X. Chinese plant fossils, volume II: Mesozoic Chinese plants[M]. Beijing: Science Press, 1963: 316-429. (in Chinese)
- [12]杜乃正. 两种黑龙江木化石[J]. 植物学报, 1982, 24(4): 383-387.  
Du N Z. Two fossil woods from Heilongjiang Sheng of China[J]. Acta Botanica Sinica, 1982, 24(4): 383-387.
- [13]王永栋, 张武, 斋木健一. 新疆奇台晚侏罗世几种木化石[J]. 古生物学报, 2000, 39(S1): 176-185.  
Wang Y D, Zhang W, Saiki K. Several fossil woods from the late Jurassic of Qitai, Xinjiang[J]. Paleontology, 2000, 39(S1): 176-185.
- [14]段淑英. 中国东北辽宁省西部几种中生代化石木[J]. 植物学报, 2000, 42(2): 207-213.  
Duan S Y. Several fossil woods from Mesozoic of western Liaoning Province, Northeast China[J]. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(2): 207-213.
- [15]丁秋红. 黑龙江省九峰山组漠河原始云杉型木(新种)[J]. 植物学报, 2000, 17(S): 206-209.  
Ding Q H. *Protopiceoxylon mohense* sp. nov. from the Jiufengshan Formation in Heilongjiang Province[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2000, 17(S): 206-209.
- [16]Duan S Y, Cui J Z, Wang X, et al. Fossil woods from the Early Cretaceous of western Liaoning, China. I [C]//Wu S M. Wood Anatomy Research 1995. Beijing: International Academic Publishers, 1995: 166-171.
- [17]深圳市城市管理局, 深圳仙湖植物园, 国土资源部沈阳地质矿产研究所. 中国木化石[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 101-242.  
Shenzhen City Administration, Immortal Lake Botanical Garden, Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources. Fossil Woods of China [M]. Beijing: China Forestry Press, 2006: 101-242. (in Chinese)

(下转第 12 页/Continued on Page 12)

- 征[J]. 地质通报, 2011, 30(2/3): 291–299.
- Liang C Y, Liu Y J, Li W, et al. Characteristics of extensional structure of Keluo complex in Nenjiang area, Heilongjiang, China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3): 291–299.
- [12]梁琛岳, 刘永江, 李伟, 等. 黑龙江省嫩江地区科洛杂岩隆升时代[J]. 地质科学, 2012, 47(2): 360–375.
- Liang C Y, Liu Y J, Li W, et al. Uplift age of Keluo complex at Nenjiang area, Heilongjiang Province [J]. Chinese Journal of Geology, 2012, 47(2): 360–375.
- [13]刘勃然, 李伟, 贾杰, 等. 大兴安岭北段嘎拉山伸展滑脱构造[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(4): 1142–1152.
- Liu B R, Li W, Jia J, et al. Extensional detachment structure in Galashan, Northern Great Xing'an Ranges, NE China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2014, 44(4): 1142–1152.
- [14]申亮, 赵胜金, 于海洋, 等. 大兴安岭哈达陶勒盖组火山岩年龄、地球化学特征及其陆缘弧构造背景[J]. 中国地质, 2020, 47(4): 1041–1055.
- Shen L, Zhao S J, YU H Y, et al. Zircon age and geochemical characteristics of Hadataolegai Formation volcanic rocks in Da Hinggan Mountains and its continental marginal arc setting [J]. Geology in China, 2020, 47(4): 1041–1055.
- [15]Andersen T. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$ [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1/2): 59–79.
- [16]Le Maitre R W, Bateman P D, Keller A, et al. A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks[M]. Oxford: Blackwell, 1989: 1–236.
- [17]Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 1989, 22(4): 247–263.
- [18]Peccherillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 58(1): 63–81.
- [19]李中会, 李阳, 李睿杰, 等. 满归地区早侏罗世岩浆作用及其地质意义[J]. 中国地质调查, 2020, 7(5): 54–65.
- Li Z H, Li Y, Li R J, et al. Magmatic activity and its geological significance in Early Jurassic in Mangui area of Inner Mongolia[J]. Geological Survey of China, 2020, 7(5): 54–65.
- [20]乔壮冬, 孙加鹏, 李宇茜, 等. 大兴安岭新林区中生代流纹岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质与资源, 2018, 27(4): 324–336.
- Qiao M D, Sun J P, Li Y H, et al. Chronology, geochemistry and geological implication of the Mesozoic rhyolites in Xinlin area, Daxinganling Mountains[J]. Geology and Resources, 2018, 27(4): 324–336.
- [21]Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[J]. Developments in Geochemistry, 1984, 2: 63–114.
- [22]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42 (1): 313–345.
- [23]林强, 葛文春, 孙德有, 等. 大兴安岭中生代两类流纹岩与玄武岩的成因联系[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(4): 322–328.
- Lin Q, Ge W C, Sun D Y, et al. Genetic relationships between two types of Mesozoic rhyolite and basalts in Great Xing'an Ridge [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2000, 30(4): 322–328.
- [24]葛文春, 林强, 孙德有, 等. 大兴安岭中生代两类流纹岩成因的地球化学研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(2): 172–178.
- Ge W C, Lin Q, Sun D Y, et al. Geochemical research into origins of two types of Mesozoic rhyolites in Daxing'anling [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2000, 25 (2): 172–178.
- [25]于跃江, 赵忠海, 杨欣欣, 等. 大兴安岭北段漠河前陆盆地早侏罗世火山岩时代的厘定[J]. 中国地质, 2021, 48(2): 580–592.
- Yu Y J, Zhao Z H, Yang X X, et al. Dating of Early Jurassic volcanic rocks in the Mohe foreland basin of northern Greater Khingan Mountains, Northeast China [J]. Geology in China, 2021, 48(2): 580–592.

(上接第 20 页/Continued from Page 20)

- [18]Li N, Zhang J P, Xing L D, et al. New records of Jurassic–Cretaceous boundary Tuchengzi Formation petrified wood from Yanqing, Beijing, China: Palaeoclimatic implications[J]. Historical Biology, 2021, 33(9): 1686–1696.
- [19]Creber G T. Tree rings: A natural data-storage system[J]. Biological Reviews, 1977, 52(3): 349–381.
- [20]Jefferson T H. Palaeoclimatic significance of some Mesozoic Antarctic fossil floras[C]// Oliver R L, Jame D R, Jago J B. Antarctic Earth Science Proceeding 5th Int Symp (Adelaide 1982). Cambridge: Cambridge Univ Press, 1983: 593–598.