

文章编号:1001-8166(2008)06-0651-08

# 浙东中新世 *Betula mioluminifera* Hu et Chaney 的发现及古气候重建\*

李明涛<sup>1,2</sup>, 孙柏年<sup>1,2\*</sup>, 肖良<sup>1</sup>, 任文秀<sup>1</sup>, 李相传<sup>1</sup>, 戴静<sup>1</sup>

(1. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 现代古生物学与地层学国家重点实验室, 中国科学院南京地质与古生物研究所, 江苏 南京 210008)

**摘要:**随着古气候和古环境研究的日渐深入,“特有种气候分析法”成为新生代定量重建古气候研究的重要方法之一。使用这一方法分析了浙江东部天台中新统下南山组的古亮叶桦(*Betula mioluminifera* Hu et Chaney)压型化石,研究了其叶结构特征及表皮微细构造,定量推论浙江天台中新世时年平均温度为12.5~22.1℃,春季平均温度为13.0~23.1℃,较现在温暖。我国内蒙、吉林、山东、云南等地的新近系发现过古亮叶桦,分布的北界为42°N。其现存最近亲缘种亮叶桦(*Betula luminifera*)生活在101~119°E,23~34°N之间,海拔500~1800 m的山区,是我国特有树种。亮叶桦分布范围的缩小显示中新世一段时期我国气候逐渐变冷的趋势。

**关键词:**中新世;古亮叶桦;特有种气候分析法;浙江

**中图分类号:**Q914 **文献标志码:**A

## 1 前言

浙江省位于中国东部,属于亚热带季风气候,温暖湿润,四季分明,光照充足,雨量充沛,森林覆盖率达59.4%,居全国前列,树种资源丰富,素有“东南植物宝库”之称。这样的气候、植被面貌是经历了长时期的地质运动演化而形成的。古近纪末、新近纪初的喜马拉雅运动使南北两大陆块拼合,古地中海封闭,同时,北美与欧亚大陆发生彻底分离,从而改变了古近纪全球的海陆布局,并引起全球性洋流体制的变更<sup>[1]</sup>。青藏高原的隆升深刻地影响了全球气温和降雨的分布格局,导致了亚洲季风的形成,这些构造运动使我国气候产生改变的同时,也对我国东部地区植物区系产生了重大的影响。刘东生<sup>[2]</sup>指出,中新世时,现代受东南季风控制的地区

出现了丰富的煤层和森林证据,代表干旱的指标不再出现,表明了东南夏季风的逐渐加强,中国环境的基本格局已接近于今天的轮廓。由于东南季风的加强,带给中国东部地区充足的降雨,同时,在海洋性气候条件下,气温的年、日变化都比较和缓,年较差和日较差都比大陆性气候小,为中国东部浙江省植物的繁盛创造了有利条件。

近年来,我们在浙江东部天台、宁海一带进行野外地质调查时发现了丰富的植物化石,其中一部分保存相当完好,这为我们进一步的研究工作奠定了坚实的基础。被子植物化石鉴定是古生物研究中的重点和难点,传统的研究方法一直是叶宏观特征(Leaf gross feature)为依据的“对图版”方法(“Picture-matching” method),即寻找宏观特征与化石叶相似的现代植物叶,作为对化石叶进行分类和命名

\* 收稿日期:2007-12-08;修回日期:2008-04-29.

\* 基金项目:国家自然科学基金项目“滇西腾冲—陇川新近纪植物化石角质层及古气候指示作用”(编号:40772012);现代古生物学与地层学国家重点实验室(中国科学院南京地质古生物研究所)基金项目“浙江宁海新近纪某些植物化石角质层研究”(编号:063101)资助.

作者简介:李明涛(1982-),男,宁夏固原人,硕士研究生,主要从事古生物地层学的研究. E-mail: limt2005@lzu.cn

\* 通讯作者:孙柏年(1955-),男,山东沂水人,教授,博导,主要从事古生物地层学的研究. E-mail: bnsun@lzu.edu.cn

的基础和依据<sup>[3]</sup>。但是植物叶片往往是植物生长过程中不稳定的一部分,且我国植物种类数目庞大,叶形相似的不同植物十分常见。仅仅依靠外观特征与化石叶片相似的现代植物进行比较,作为对化石叶进行鉴定和命名的基础和依据,其可信度缺乏保障,甚至经常导致错误的结论<sup>[4]</sup>。因此,作者采用植物叶片中较稳定的性状,例如二次脉、三次脉、侧脉夹角、锯齿类型等特征,配合表皮细胞特征来对化石植物进行鉴定,增加了鉴定的可靠性和准确度。

亮叶桦(*Betula luminifera*)为我国特有树种,因此,本文利用特有种气候分析法(Climature analysis of endemic species)<sup>[5]</sup>对浙江东部中新世时的气候环境进行定量分析,并且对比前人已有资料对*Betula mioluminifera*化石产地的古气候条件进行讨论,得出了和前人利用杜仲(*Eucommia ulmoides*)<sup>[6,7]</sup>分析山东山旺植物群古气候相似的结果,验证了利用我国特有种亮叶桦进行古环境定量分析的可靠性。

## 2 分析样品与方法

### 2.1 采样剖面概况

天台县位于浙江省东部、台州地区西北部,临近东海,气候受季风影响较大,年平均气温 16.8℃,降雨量 1 320 mm。天台盆地内分布着一套产状平缓、多旋回喷发的橄榄玄武岩,夹有河湖相沉积层<sup>[8]</sup>。该区玄武岩沉积夹层中产丰富的植物化石,作者所用标本化石即产于该区中新统下南山组,地层不整合覆盖于上侏罗统流纹质凝灰岩之上。下南山组大致分为 3 个岩性段:下段为玄武岩,厚度约为 103.1 m,中间夹 20 m 杏仁状构造玄武岩;中段为湖相沉积物,含有耐火粘土层、硅藻土夹层及煤线,厚度约为 8 m,此段含有丰富的植物化石;上段为大于 35 m 的玄武岩<sup>[9]</sup>。采集化石的剖面位于天台县东北 30 km 处,处于下南山组中段,可分为 4 层(图 1),由下至上第一层为灰白色硅藻土泥页岩,厚度约 1.93 m,中间夹 0.02 m 的硅藻土层;第二层主要岩性为灰白色硅藻土泥页岩,中间夹两层硅藻土层,厚度分别为 0.1 m 和 0.03 m,该层厚度为 2.73 m;第三层为黄白色硅藻土泥页岩,中间夹两层 0.05 m 厚的硅藻土层,该层厚 2.76 m;第四层主要岩性为硅藻土泥页岩,夹有一层 0.02 m 厚硅藻土层,硅藻土泥页岩与泥质粉砂岩互层,厚度为 3.65 m。化石多产自第三层硅藻土泥页岩中。

### 2.2 试验方法

作者选取的标本初步定名为 *Betula miolumini-*

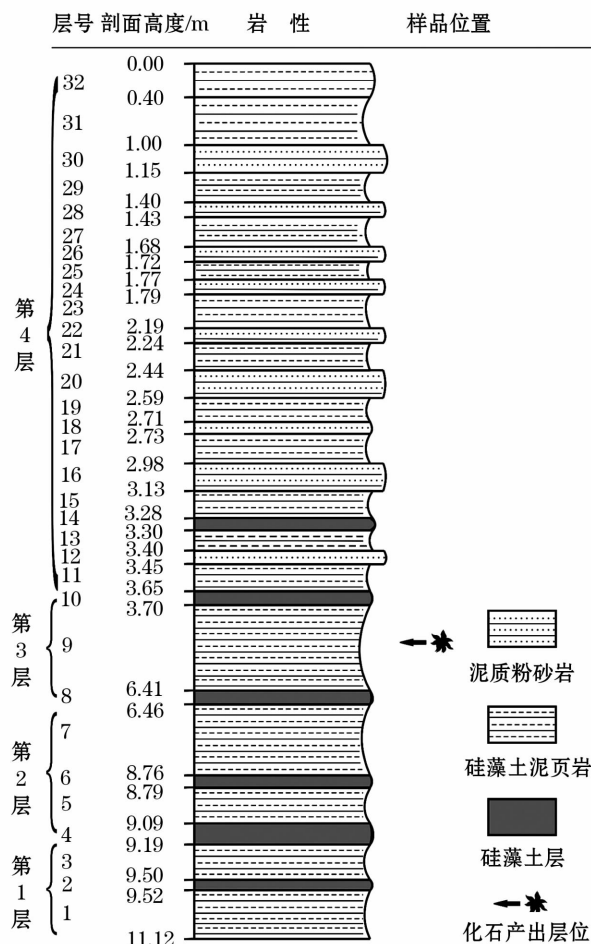


图 1 天台中新世含化石地层柱状剖面图

Fig. 1 The general column of fossil-bearing strata from the Miocene in Tiantai county

*fera* Hu et Chaney。未剥离角质层之前将叶片在 Leica MZ12.5 体视镜下观察并照相,描述其叶结构特征。在实验过程中发现 *Betula mioluminifera* 角质层非常薄,贴于岩石之上。通过多次实验,作者获得了处理此类薄角质层的实验方法:在叶片中部取一块角质层,在蒸馏水中充分润湿,然后分别用盐酸和氢氟酸浸泡;一定时间后,稀释至中性,加入 37% 的硝酸,观察角质层颜色变化,如颜色发生变化,则继续浸泡;如颜色不发生变化,则逐渐增加硝酸浓度,直至角质层变色,浸泡 12 小时。待角质层由黑色变为浅黄色透明状时,将其取出浸入蒸馏水中,稀释至中性后等待 1~2 小时,使角质层上的硝酸充分溶于水之后,加入浓度为 5% 的氨水中反应并随时观察。待上下表皮分开,稀释至中性,在番红溶液中染色 30 分钟至 1 小时,然后用甘油制片,指甲油封片,最后在 Leica DM4000B 生物显微镜下观察并拍照。

## 2.3 标本描述及表皮微细构造特征

桦木科 (Betulaceae)

桦木属 (*Betula* L.)

古亮叶桦 (*Betula mioluminifera* Hu et Chaney)

标本描述:叶卵形,长约4 cm,宽约2.5 cm;顶端急尖,基部微心形近乎圆形,未保存叶柄(可见印痕,长0.3 cm);叶缘具细密的锐尖重锯齿。中脉较细,不足1 mm;侧脉直,羽状排列,在近缘处微向上弯曲,并分叉伸向锯齿内;10~11对,基部一对与中脉夹角较大,约85°;其余与中脉夹角45~50°,每两条侧脉间有3~4个重齿,基部一条侧脉与其之上一条侧脉之间锯齿较多,达8~9个(图2-1)。

表皮细微构造特征:角质层薄,上表皮无气孔器,细胞呈4~5边形无规则排列,而以四边形居多。长约10~25 μm,宽约5~20 μm,细胞壁平直。由于处理所得表皮较小,未见表皮毛或毛基。下表皮具气孔器,细胞垂周壁无明显弯曲,呈多边形。气孔器取向无规则,长约15 μm,宽约12 μm,气孔器无规则型。下表皮可见少量毛基,推断表皮毛类型为单毛,其周围细胞与普通表皮细胞无明显差异(图2-3,2-4,2-5)。

讨论和比较:比较了浙江中新统 *Betula mioluminifera*、山东临朐中新统 *Betula mioluminifera*、云南腾冲上新统 *Betula mioluminifera*,以及现生亮叶桦 *Betula luminifera*,并对四者的差异做了详细的统计(表1)。山旺植物群记录的 *Betula mioluminifera* 叶形变化较大,为卵形、矩圆形、椭圆形、基部圆形、近平截、楔形,但在侧脉对数、侧脉分叉、与中脉夹角、锯齿类型、叶尖、叶基等方面与浙江 *Betula mioluminifera* 非常相似;发现于云南腾冲的 *Betula mioluminifera* 叶化石较大,仅保存的中上部即长3.5 cm,宽5.5 cm,除叶形较大,其余叶结构特征及角质层上表皮特征与浙江标本均相似,由于云南标本未分析出角质层下表皮,故无法进行气孔器类型比较;《中国植物志》<sup>[10]</sup>、《浙江植物志》<sup>[11]</sup> 所记录 *Betula luminifera* 叶形特征与当前标本 *Betula mioluminifera* 有部分差异,区别在于现生亮叶桦边缘具不规则的刺毛状重锯齿,而当前标本 *Betula mioluminifera* 的锯齿类型为锐尖的重锯齿,锯齿基部较大,山旺 *Betula mioluminifera* 的锯齿与浙江标本颇为相似,也未发现具有刺毛状锯齿的类型。经观察大量现生亮叶桦标本(中科院植物所标本馆),作者发现 *Betula luminifera* 的锯齿类型应为两种,刺毛状重锯齿(见图2-

2)及锐尖的重锯齿,浙江 *Betula mioluminifera* 的叶形态特征非常接近 *Betula luminifera*,而其表皮细胞特征也与 *Betula luminifera* 相似。基于叶形、锯齿、侧脉对数、侧脉夹角等叶结构特征,以及表皮细胞的相似性,可以更加准确地为该植物化石分类,定名为 *Betula mioluminifera* 应无误,*Betula luminifera* 为其最近现存亲缘种。关于 *Betula mioluminifera* 的汉译名,前人将其译为亮叶桦,而其现存最近亲缘种 *Betula luminifera* 也被译为亮叶桦,显然汉译名有混淆之嫌。本文将 *Betula mioluminifera* 译为古亮叶桦,以示区别,这与胡先骕和钱尼命名的 *Carpinus mioturczaninowii* Hu et Chaney 被译为古鹅耳枥的作法一致<sup>[12]</sup>。

## 3 古气候重建

### 3.1 “特有种气候分析法”原理

中国种子植物1990属,其中特有属为243属。相当一部分特有植物类群是经历了长时间的发展变化过程而延续至今。它们长时间大范围的地理迁移是对环境变化响应的一种方式。在迁移过程中,这些类群的遗传物质保持相对稳定,没有或很少演变成新的类群;它们的形态结构和生理功能也保持相对稳定;惟一发生改变的是其分布范围。这些特有植物物种最后在一定的地理范围内保持与环境的平衡而生存下来。特有种气候分析法就是基于植物分布时存在的特有现象而创立的<sup>[6]</sup>。特有种气候分析法首先需要确认化石种的最近现存亲缘种;对现存特有类群的化石种在地质历史时期的地理分布进行调查和研究,确定其地理分布在时间序列上的动态变化过程;对现存特有类群化石种的最近现存亲缘种在自然状态下完成生活史的生态和气候条件进行调查和研究,获得其分布范围内准确的气候参数数值;综合现存特有类群在地质历史时期地理分布上的动态变化与该类群在自然状态下完成生活史的生态和气候条件的准确数值,修订后,定量重建该特有类群古地理分布区的气候和在大的时间尺度上定量分析该区域气候演变的过程<sup>[5]</sup>。

### 3.2 亮叶桦和古亮叶桦分布

亮叶桦又名光皮桦,在分类系统上归桦木属中最原始的西桦组,为中国特有分布<sup>[13]</sup>,在华南分布到粤西北南岭山区,向东北方向分布到豫西伏牛山区,向东则到浙中浙南山地,见于101~119°E,23~34°N之间,海拔500~1800 m的山区,是华东地区桦木属唯一的种类<sup>[13,14]</sup>。亮叶桦适应性强,较耐干旱瘠薄,喜温暖湿润气候、土层较厚的酸性土壤,多

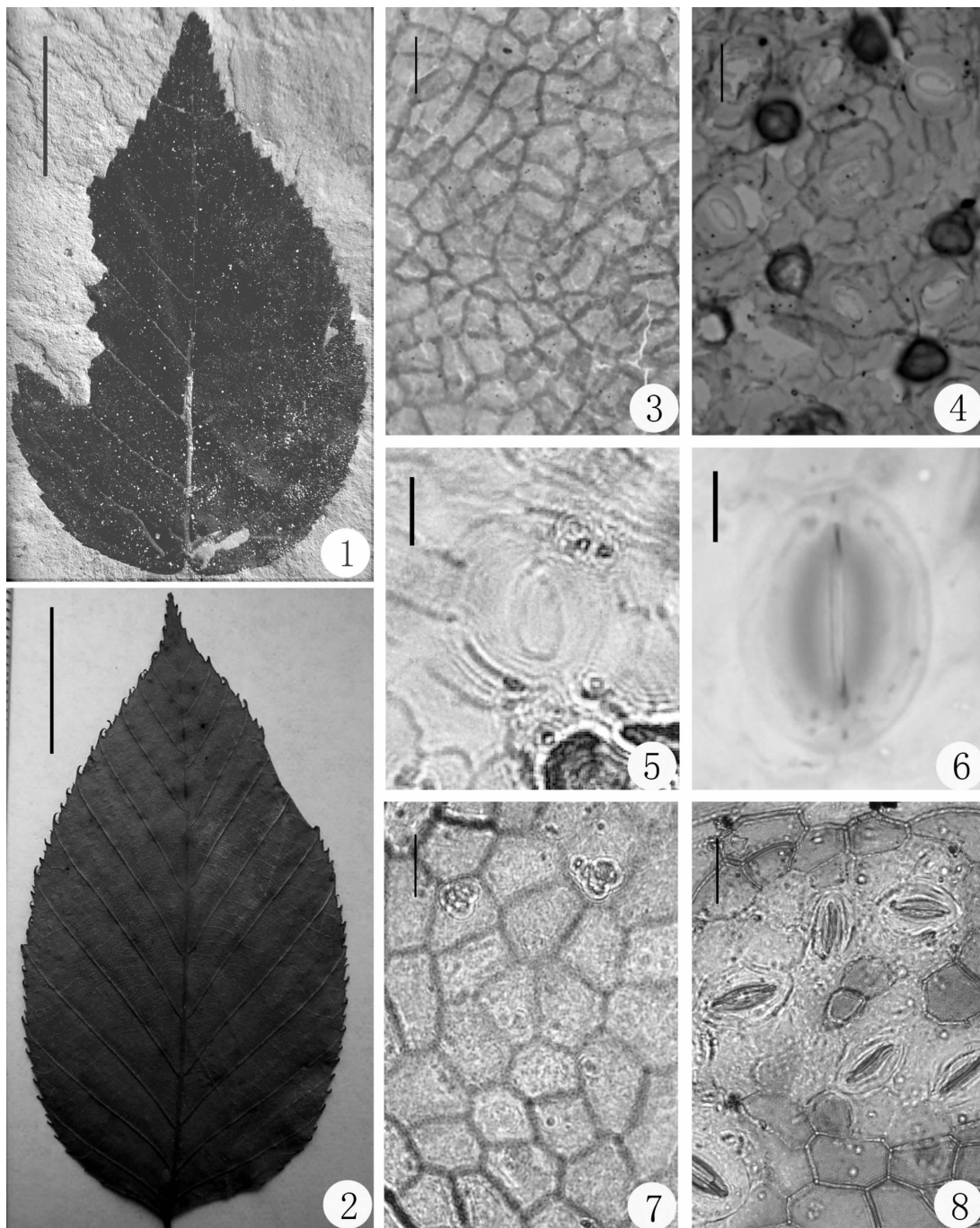


图2 *Betula mioluminifera* 和 *Betula luminifera* 的外形及表皮特征

Fig. 2 Shape and epidermic features between *Betula mioluminifera* and *Betula luminifera*

标本及薄片保存于兰州大学资源环境学院古生物实验室

1. *Betula mioluminifera* Hu et Chaney

手标本, 比例尺 = 1 cm, 标本号: Jhu-1-2-107.

3. *Betula mioluminifera* Hu et Chaney

上表皮, 比例尺 = 20  $\mu\text{m}$

5. *Betula mioluminifera* Hu et Chaney

气孔器, 比例尺 = 10  $\mu\text{m}$

7. *Betula luminifera* H. Winkl.

上表皮, 比例尺 = 20  $\mu\text{m}$

2. *Betula luminifera* H. Winkl.

手标本, 比例尺 = 1 cm

4. *Betula mioluminifera* Hu et Chaney

下表皮, 比例尺 = 20  $\mu\text{m}$

6. *Betula luminifera* H. Winkl.

气孔器, 比例尺 = 10  $\mu\text{m}$

8. *Betula luminifera* H. Winkl.

下表皮, 比例尺 = 20  $\mu\text{m}$

表1 古亮叶桦和亮叶桦叶片形态和表皮微细构造对比

Table 1 Comparison of leaf morphological and cuticular features between *Betula mioluminifera* and *Betula luminifera*

类型	叶片形态			表皮微细构造		文献
	叶质	叶形	叶脉	上表皮	下表皮	
浙江天台 <i>Betula mioluminifera</i> Hu et Chaney	薄纸质	叶卵形,顶端急尖,基部圆形,边缘具细密尖锐重锯齿	中脉较细,侧脉羽状排列,10~11对,与中脉夹角45°~50°	无气孔器,细胞多四边形,细胞壁平直	具气孔器,细胞壁无明显弯曲;气孔器取向无规则,无规则型,具毛基	本文
山东山旺 <i>Betula mioluminifera</i> Hu et Chaney	质地坚硬	叶卵形,矩圆形,椭圆形,长4.2~11 cm,宽2.4~9.1 cm,顶端急尖,基部圆形,近平截,楔形,边缘具不规则的细密重锯齿	中脉细,侧脉10对,基部的一对短,与中脉的夹角大,其他与中脉夹角约40°,直行,仅在边缘弯曲,每两个侧脉间具2~4个重齿;三次脉不整齐地连接于侧脉之间,彼此平行	无记录	无记录	《中国新生代植物》 <sup>[12]</sup> 、《山旺植物化石》 <sup>[15]</sup>
云南腾冲 <i>Betula mioluminifera</i> Hu et Chaney	纸质	叶卵形,保存叶的中上部,长约3.5 cm,宽约5.5 cm,边缘具细密尖锐重锯齿	中脉较细,侧脉与中脉夹角45°~50°,三次脉较密集,不整齐地垂直连接于相邻侧脉间,叶缘在每两条侧脉间具2~4个重齿	上表皮厚,无气孔器,细胞为多边形,长宽约20 μm,脉络清楚,呈网格状	未获得	孙柏年,丛培允等 <sup>[16]</sup>
现生 <i>Betula luminifera</i> H. Winkel.	纸质	叶矩圆形、有时为椭圆形或卵形,长4.5~10 cm,宽2.5~6 cm,顶端骤尖或呈细尾状,基部圆形,有时近心型,边缘具不规则的刺毛状重锯齿	中脉较细,侧脉与中脉夹角约45°,基部一条约55°;三次脉垂直于侧脉,近平行排列,两侧脉间具5~6个锯齿	无气孔器,细胞多为4~5边形,不规则排列,脉络清楚,呈网格状。可见表皮毛,类型为单毛	具气孔器,细胞壁较直,无明显弯曲。气孔器取向无规则,无规则型。多表皮毛,类型为单毛	《中国植物志》 <sup>[10]</sup> 、《浙江植物志》 <sup>[11]</sup> ;标本采自甘肃天水

生于向阳干燥山坡、林缘或林中空地<sup>[17]</sup>。不难看出:亮叶桦的地理分布区域正是我国最大的亚热带阔叶林区,地带性植被以常绿阔叶林为主<sup>[13]</sup>。

发现于日本晚白垩世坎佩尼期的桦粉是和桦木属植物有关的最早化石记录,与该属有关的叶化石在早第三纪的北半球有十分广泛的分布<sup>[18]</sup>。在我国至今还未报道古亮叶桦果实、茎干化石记录,但新近纪以来叶化石记录已相当丰富。至今我国已发现 *Betula mioluminifera* 化石的地层有:内蒙古赤峰地区牛家营子(118°47'E, 41°07'N)中新统老梁底组,时代为中新世早期<sup>[19]</sup>;内蒙古赤峰平庄盆地(119°15'E, 42°03'N)中新统,其时代亦为中新世早期<sup>[20]</sup>;吉林长白县(127°16'E, 41°31'N)中新统马鞍山村组,发现了亮叶桦 *Betula mioluminifera* 的叶化石,其产出地层年代为13.5 Ma<sup>[21]</sup>;山东临朐县(118°20'E, 36°54'N)中新统山旺组发现了大量 *Betula mioluminifera* 叶化石,并有详细记录<sup>[12]</sup>;云南腾冲(98°38'E, 24°41'N)上新统芒棒组也曾发现 *Betula mioluminifera* 的叶片<sup>[16, 22]</sup>。当前浙江中新统下南

山组 *Betula mioluminifera* 的发现及其微细构造的研究丰富了我国古亮叶桦化石的记录,对促进中新世桦木属植物的深入研究具有重要意义。

### 3.3 讨论

就全球范围而言,第三纪气候比较温暖,气温高于现代地球气温<sup>[1]</sup>。通过本文的研究发现亮叶桦的分布区域自中新世以来随之缩小,分布范围的北界(根据已有化石资料)已从42°N南移至34°N。通过对现代亮叶桦分布区的气候的详细调查<sup>[23]</sup>,获得了其自然生长区的生态条件。亮叶桦能够完成其生活史的年平均气温为12.5~22.1°C,年平均最高气温为17.7~27.5°C,年平均最低气温为7.4~18.8°C,年较差为10.0~26.4°C,年平均相对湿度为59%~82%,年降水量为637.1~1695.4 mm(表2)。作者选用12.5~22.1°C来恢复浙江天台地区中新世时的古年均温,发现天台现代年均温(16.8°C)和腾冲现代年均温(14.9°C)在此范围区间,但临朐现代年均温(12.4°C)、赤峰牛家营子年均温(6.7°C)、赤峰平庄年均温(6.9°C)和长白现代

年均温(3.8~4.3℃)却比这个范围的低值要低,据此推测,中新世时,山东中部、内蒙古东南部和吉林东南部气候较现在温暖。亮叶桦种子在春季萌发<sup>[24]</sup>,因此其分布区内春季温度对于亮叶桦的生长起着关键作用。作者统计了亮叶桦自然分布区内春季平均气温为13.0~23.1℃,用此温度范围恢复了化石产地中新世时的古春季温度,这一温度比浙江东部现代春季温度(9.9~12.0℃)要高,由此说明

浙江东部在中新世时春季比现在温暖。而李承森等<sup>[6,7]</sup>利用我国特有种杜仲(*Eucommia ulmoides*)恢复的山东省山旺地区1500万年前古春季温度(13~20℃)要比今天(12.9℃)明显高许多。两种结论都验证了中新世以来我国气候变冷的趋势,而且两种特有植物所得出的数据可以达到相互补充的作用,为我们恢复地史时期的古气候提供了准绳和依据。

陶君容<sup>[25]</sup>已根据叶缘分析法推测出浙江下南

表2 亮叶桦分布区内气象台(站)气候资料

Table 2 The climate data from Chinese meteorologic station in the distribution area of *Betula luminifera*

台站号	年平均气温 (℃)	年平均最高 气温(℃)	年平均最低 气温(℃)	年气温年 较差(℃)	年平均相对 湿度(%)	年降水量 (mm)	春季平均 温度(℃)
56096	14.5	19.8	10.5	21.4	59	480.2	15.3
56671	15.1	22.0	9.6	13.9	69	1 130.9	16.6
56964	18.0	24.8	13.6	10.0	81	1 507.8	19.3
57067	12.5	19.1	7.4	26.4	70	637.1	13.0
57127	14.2	19.0	10.7	22.9	80	907.6	14.5
57237	14.6	19.8	10.8	21.2	72	1 236.3	14.6
57494	16.3	21.0	12.5	25.3	79	1 222.5	16.0
57707	12.7	17.7	9.5	19.1	82	895.0	13.2
57902	15.2	20.0	11.8	16.0	80	1 345.9	16.3
58238	15.3	20.2	11.3	25.8	77	1 034.1	14.5
58457	16.2	20.6	12.9	24.5	79	1 374.7	15.1
58527	17.1	22.6	13.1	23.8	78	1 695.4	16.6
58834	19.3	24.8	15.6	19.4	78	1 616.1	18.9
59211	22.0	27.5	18.3	15.4	76	1 098.7	23.1
59254	21.5	25.6	18.6	16.3	80	1 680.0	21.3
59287	21.8	26.2	18.7	15.2	78	1 681.9	21.8
59417	22.1	27.1	18.8	14.4	81	1 310.1	22.9

山组的年均温近似值为12℃,年较差为22℃;山东山旺组的年均温为11.5℃,年较差为22℃。这和本文利用特有种分析法得出的下南山组的年均温有不小的出入;同时作者发现用叶缘分析法所得出的山东山旺组年均温也低于通过共存分析法<sup>[26,27]</sup>得出的山旺组年均温15.6~17.2℃,出现这样的现象有可能是因为化石材料数量有限,并不能充分代表地史时期的植物群落面貌,导致叶缘分析法得出的结果偏低。而植物与环境之间微妙关系的复杂性也极有可能导致这样的问题出现。各种不同方法存在各自的局限性,因此,如何结合具体情况来采用适当的方法应该引起古生物工作者的思考。

中新世开始我国植被和气候发生很大的变化,跨越中国中纬区的干旱气候带消失,退为西北干旱区;中国东部和东南部,以及西藏高原,都发育有湿润植被<sup>[28]</sup>。而环境的变化又在植物叶片上留下了相应的痕迹<sup>[29]</sup>,利用这些痕迹,我们可以推断地史

时期的气候变化,恢复古生态环境,揭开亿万年前不为人知的秘密。

**致谢:**野外工作中惠冠军同学参与采集化石,在此表示感谢。

### 参考文献 (References):

- [1] Jin Jianhua, Liao Wenbo, Wang Bosun, et al. Global change in Cenozoic and evolution of flora in China[J]. *Guihaia*, 2003, 23(3): 217-225. [金建华, 廖文波, 王伯荪, 等. 新生代全球变化与中国古植物区系的演变[J]. 广西植物, 2003, 23(3): 217-225.]
- [2] Liu Dongsheng, Zheng Mianping, Guo Zhengtang. Initiation and evolution of the Asian monsoon system timely coupled with the ice-sheet growth and the tectonic movements in Asia[J]. *Quaternary Sciences*, 1998, (3): 194-204. [刘东生, 郑绵平, 郭正堂. 亚洲季风系统的起源和发展及其与两极冰盖和区域构造运动的时代耦合性[J]. 第四纪研究, 1998, (3): 194-204.]
- [3] Leng Qin. An effective method of observing fine venation from

- compressed angiosperm fossil leaves [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2000, 39(1): 157-158. [冷琴. 一种观察被子植物压膜化石细微叶结构特征的有效方法[J]. 古生物学报, 2000, 39(1): 157-158.]
- [4] Dilcher D L. Approaches to the identification of angiosperm leaf remains[J]. *Botanical Review*, 1974, 40: 1-157.
- [5] Li Chengsen, Wang Yufei, Sun Qigao. Climate analysis of Endemic Species—A novel method for quantitative analysis of global climate change since Tertiary[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(2): 217-220. [李承森, 王宇飞, 孙启高. 定量分析第三纪以来环境变化的新方法——特有种气候分析法[J]. 植物学报, 2001, 43(2): 217-220.]
- [6] Li Chengsen, Wang Yufei, Sun Qigao. The quantitative reconstruction of palaeoenvironments and palaeoclimates based on plants [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2003, 20(4): 430-438. [李承森, 王宇飞, 孙启高. 植物对环境的响应——定量重建古气候的研究进展[J]. 植物学通报, 2003, 20(4): 430-438.]
- [7] Wang Yufei, Li Chengsen, Margaret E Collinson, et al. Eucommia (Eucommiaceae), a potential biothermometer for the reconstruction of paleoenvironments [J]. *American Journal of Botany*, 2003, 90(1): 1-7.
- [8] Wang Kaifa, Jiang Hui, Zheng Zhuo, et al. Sporo-pollen and sili- ceous algae assemblages from the intercalated bed of basaltic sedi- ments in Tiantai, Xinchang, Shengxian of Zhejiang [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1985, 9(1): 28-36. [王开发, 蒋辉, 郑卓, 等. 浙江天台、新昌、嵊县地区玄武岩沉积夹层的孢粉、硅藻组合[J]. 地层学杂志, 1985, 9(1): 28-36.]
- [9] Li Haomin. Neogene floras from eastern Zhejiang, China [C] // Whyte R O, ed. *The Evolution of the East Asian Environment* Vol. II. Palaeobotany, Palaeozoology and Palaeoanthropology. Hong Kong: Centre of Asian Studies, University of Hong Kong, 1984: 461-466.
- [10] *Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae Sinicae Edita. Flora Reipublicae Popularis Sinicae* (in Chinese), Tomus 21 [M]. Beijing: Science Press, 1979: 103-137. [中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志, 第21卷[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 103-137.]
- [11] Editorial Board of Flora of Zhejiang. *Flora of Zhejiang* (in Chi- nese), Vol. 2 [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technol- ogy Publishing House, 1992: 31-41. [浙江植物志编辑委员会. 浙江植物志, 第2卷[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1992: 31-41.]
- [12] Cenozoic Plants from China Writing Group of Institute of Botany, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica. *Fossil Plants of China, Cenozoic Plants from China* (in Chinese), 3 [M]. Beijing: Science Press, 1978: 57-71, 171-219. [中国科学院北京植物研究所, 南京地质古生物研究所《中国新生代植物》编写组. 中国植物化石, 中国新生代植物. 第三册 [M]. 北京: 科学出版社, 1978: 57-71, 171-219.]
- [13] Wu Zicheng, Wang Yuehui. Community character for selection and improvement technique of *Betula luminifera* [J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 1996, 17(4): 17-28. [吴子诚, 王乐辉. 光皮桦选择群体特征和改良技术[J]. 四川林业科技, 1996, 17(4): 17-28.]
- [14] Jiang Jingmin. The study of the geographical distribution of the *Betula* in China [J]. *Forest Research*, 1990, 3(1): 55-62. [姜景民. 中国桦木属植物地理分布的研究[J]. 林业科学研究, 1990, 3(1): 55-62.]
- [15] Sun Bo. *Shanwang Fossil Plants* [M]. Ji'nan: Shandong Science and Technology Publishing House, 1999: 31. [孙博. 山旺植物化石[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1999: 31.]
- [16] Sun Bainian, Cong Peiyun, Yan Defei, et al. Cuticular structure of two angiosperm fossils in Neogene from Tengchong, Yunnan province and its palaeoenvironmental significance [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2003, 42(2): 216-222. [孙柏年, 丛培允, 阎德飞, 等. 云南腾冲新近纪两种被子植物化石的角质层构造及其古环境意义[J]. 古生物学报, 2003, 42(2): 216-222.]
- [17] Dong Jianwen, Chen Cilu, Chen Dongyan, et al. A study on zo- ology and biological specific properties of *Betula luminifera* Winkl [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2001, 23(2): 220-223. [董建文, 陈慈禄, 陈东阳, 等. 光皮桦栽培生物学特性研究[J]. 江西农业大学学报, 2001, 23(2): 220-223.]
- [18] Chen Zhiduan, Lu Anmin. Origin and early evolution of the Bet- ulaceae [J]. *Journal of Graduate School, Academia Sinica*, 1995, 12(2): 199-204. [陈之端, 路安民. 桦本科植物的起源和早期演化[J]. 中国科学院研究生院学报, 1995, 12(2): 199-204.]
- [19] Chen Binglin, Fang Deqing, Che Qipeng, et al. On the geolog- ical age of the Laoliangdi formation and the Zhaowuda (JU UD) formation Chifeng Inner Mongolia [J]. *Journal of Daqing Petrole- um Institute*, 1992, 16(2): 1-4. [陈秉麟, 方德庆, 车启鹏, 等. 内蒙赤峰上第三系老梁底组及昭乌达组的时代问题 [J]. 大庆石油学院学报, 1992, 16(2): 1-4.]
- [20] Shang Ping, Jin Jianhua, Sun Dejun, et al. Early Miocene flora from Pingzhuang basin of Inner Mongolia and its paleoenvironment [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni (Na- ture Science)*, 2001, 40(5): 108-112. [商平, 金建华, 孙德君, 等. 内蒙古平庄盆地中新世早期植物群与古环境[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2001, 40(5): 108-112.]
- [21] Li Yuntong, et al. *Stratigraphy of China* (No. 13), The Tertiary system of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 1-341. [李运通, 等. 中国地层第13册, 中国的第三系 [M]. 北京: 地质出版社, 1984: 1-341.]
- [22] Li Xikang, Tan Xiaohong, Gao Ziyang, et al. The geological peri- od and sedimentation environment Mangbang formation in Teng- chong area, Yunnan [J]. *Yunnan Geology*, 2004, 23(2): 241-251. [李锡康, 谭筱虹, 高子英, 等. 腾冲上新统芒棒组地质时代及沉积环境[J]. 云南地质, 2004, 23(2): 241-251.]
- [23] Climatic Data Center, National Meteorological Information Cen- ter, CMA. *The Annual Surface Climate Normals of Internatinal Exchanging Stations of China (1961-1990)* [DB/OL]. 2005. [中国气象局, 国家气象信息中心. 中国地面国际交换站气 候标准值年值数据集(1961-1990) [DB/OL]. 2005]

- [24] Cao Jiankang, Chen Li, Fang Lejin. Effects of light and temperature on storage and germination of *Betula lum inifera* seeds[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2007, 35(5): 17-18. [曹健康, 陈黎, 方乐金. 光温因子对光皮桦种子贮藏和萌发的影响[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(5): 17-18.]
- [25] Tao Junrong. The Evolution of the Late Cretaceous-Cenozoic Floras in China(in Chinese) [M]. Beijing: Science Press, 2000, 73-77, 92-103. [陶君容. 中国晚白垩世至新生代植物区系发展演变[M]. 北京: 科学出版社, 2000, 73-77, 92-103.]
- [26] Liang Mingmei, Wang Yufei, Li Chengseng. Palaeovegetation succession and quantitative Palaeoclimate reconstruction of the Miocene Shanwang assemblage [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2001, 3(3): 11-20. [梁明媚, 王宇飞, 李承森. 山旺中新世植被演替及古气候定量研究[J]. 古地理学报, 2001, 3(3): 11-20.]
- [27] Sun Qigao, Wang Yufei, Li Chengsen. The Miocene vegetation succession and environmental changes in Shanwang Basin, Shandong province, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(3): 15-23. [孙启高, 王宇飞, 李承森. 中新世山旺盆地植被演替与环境变迁[J]. 地学前缘, 2002, 9(3): 15-23.]
- [28] Sun Xiangjun, Wang Pinxian. How old is the Asian Monsoon System-Palaeobotanical Constraints from China [J]. *Journal of Tongji University(Natural Science)*, 2005, 33(9): 1 137-1 143. [孙湘君, 汪品先. 从中国古植被记录看东亚季风的年龄[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2005, 33(9): 1 137-1 143.]
- [29] Xiao Liang, Sun Bainian, Yan Defei, *et al.* Cuticular Structure of *Quercus pannosa* Hand-Mazz. from the Pliocene in Baoshan, Yunnan province and its palaeoenvironmental significance [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2006, 23(1): 23-30. [肖良, 孙柏年, 阎德飞, 等. 云南保山上新统黄背栎 *Quercus pannosa* Hand-Mazz 角质层特征及古环境意义[J]. 微体古生物学报, 2006, 23(1): 23-30.]

## Discovery of *Betula mioluminifera* Hu et Chaney from the Miocene in Eastern Zhejiang and Reconstruction of Palaeoclimate

LI Mingtao<sup>1,2</sup>, SUN Bainian<sup>1,2</sup>, XIAO Liang<sup>1</sup>, REN Wenxiu<sup>1</sup>,  
LI Xiangchuan<sup>1</sup>, DAI Jing<sup>1</sup>

(1. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

**Abstract:** Along with the strengthening of the research of palaeoclimate and palaeoenvironment, the “climate analysis of endemic species” method has become one of efficient methods that can reconstruct palaeoclimate quantitatively. The compression of fossil *Betula mioluminifera* Hu et Chaney in the Xia'nanshan Formation of the Miocene in Tiantai, Zhejiang province, China, was analyzed by this method, and the leaf architecture and cuticular structure of the fossil were studied. The mean annual temperature 12.5 ~ 22.1°C and the spring temperature 13.0 ~ 23.1°C in the Miocene of Eastern Zhejiang were quantitatively reconstructed. As a result, the palaeoclimate of the Miocene was warmer than that of today. Fossil *Betula mioluminifera* had been found in the Neogene in Inner Mongolia, Jilin, Shandong and Yunnan Provinces in China, and the northern boundary of its natural distribution is 42°N. The living *Betula luminifera* is the nearest living relative species of fossil *Betula mioluminifera* and is also an endemic species in China. It grows from 500 ~ 1 800 m above sea level, within the geographic range from 101°E to 119°E and 23°N to 34°N. The decrease of distribution range of *Betula luminifera* shows a gradual cool climate trend gradually in some time of the Miocene.

**Key words:** Miocene; *Betula mioluminifera*; Climate analysis of endemic species; Zhejiang.