

doi:10.3799/dqkx.2012.00

福建永安下白垩统坂头组枝脉蕨属一新种

Cladophlebis yonganensis sp. nov.

戴 静^{1,2}, 孙柏年^{1*}, 刀克群¹, 董 重¹, 王永栋³, 田 宁³

1. 兰州大学资源环境学院, 西部环境教育部重点实验室, 甘肃兰州 730000

2. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南昆明 650000

3. 中国科学院南京地质古生物研究所, 江苏南京 210008

摘要: 对福建永安市下白垩统坂头组保存较好的真蕨类营养叶化石枝脉蕨 *Cladophlebis* 进行了叶片形态及角质层微细构造特征的分析, 该化石至少二次羽状分裂, 末二次羽轴粗, 小羽片小, 全缘, 排列紧密, 中脉明显, 侧脉密集, 多数一次分叉; 上表皮无气孔器, 细胞轮廓不清晰, 偶见表皮毛; 下表皮具气孔器, 呈纵向带状排列; 表皮细胞长方形或呈条带状; 垂周壁加厚, 较直; 平周壁波状突起; 气孔器近圆形, 具明显拱盖, 保卫细胞弱角质化, 副卫细胞分化不明显。对当前化石小羽片解剖学特征的分析填补了该属植物化石叶片角质层微细构造特征的空白, 进一步将其与现生紫萁 *Osmunda japonica* 以及部分真蕨类化石的表皮特征进行对比, 结合宏观形态和角质层特征的分析及其与相似种类的比较, 将永安的标本命名为一新种, 永安枝脉蕨 *Cladophlebis yonganensis* Dai et B. N. Sun, sp. nov., 并且推断当前化石代表了某一类已经灭绝的真蕨类植物。

关键词: 枝脉蕨; 角质层特征; 表皮构造; 下白垩统; 坂头组。

中图分类号: P53

文章编号: 1000-2383(2012)03-0000-10

收稿日期: 2011-06-22

A New Species *Cladophlebis yonganensis* sp. nov. from the Lower Cretaceous Bantou Formation of Yong'an, Fujian Province

DAI Jing^{1,2}, SUN Bai-nian^{1*}, DAO Ke-qun¹, DONG Chong¹, WANG Yong-dong³, TIAN ning³

1. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems of the Ministry of Education, College of Earth and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

2. School of Resource Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650000

3. Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008

Abstract: Some fossil remains of morphogenus sterile fern foliage *Cladophlebis* were collected from the Lower Cretaceous Bantou Formation, Yong'an City, Fujian Province. The gross morphological structure and microstructure of cuticles are studied. These fronds are at least bipinnate, main rachis broad, pinnules small, with entire margin crowdedly attached to the rachis with the whole basis. Their midveins are moderately thick, and the secondary veins at the margin are dense, mostly with a single bifurcation. The upper epidermis is free from stomata, with an indistinct outline of cells, and trichomes can be found sometimes. The stomata on the lower epidermis are longitudinally arranged. The epidermal cells are oblong or elongated, anticlinal cell walls straight or slightly undulant and moderately thick, periclinal walls slightly wrinkled. Stomata are mainly circinal, with well-developed stomata ledges. Guard cells are sunken with weak cutinization, and subsidiary cells are not distinct. The cuticular features described above fill in a gap of the epidermic structure about the genus. Additionally, comparison of epidermic features between present fossils and recent *Osmunda japonica*, as well as some Filices fossils is carried out. The comparison of gross morphology and cuticular features shows specimens studied are of a new species and is named as *Cladophlebis yonganensis* Dai et B. N. Sun, sp. nov., and it is concluded that the fossils studied represent a certain extinct plant of Filices.

Key words: *Cladophlebis*; cuticular features; epidermic structure; Lower Cretaceous; Bantou Formation.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目“973”项目(No. 2012CB822000); 国家自然科学基金(No. 41172022); 高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20100211110019); 兰州大学 2008 年接受国内博士生访学项目资助(No. 2008-22).

作者简介: 戴静(1984-), 女, 博士生, 主要从事古生物学与地层学的研究。* 通讯作者: 孙柏年, E-mail: bnsun@lzu.edu.cn

福建位于我国东南沿海,境内中生代陆相地层比较发育,晚侏罗世—早白垩世地层陆续出露于各个沉积盆地中,其中含有丰富的动植物化石(曹正尧等,1995;马爱双,1998)。2009年2月,笔者和实验室研究小组在位于福建中部偏西的永安盆地坂头组采获大量植物化石,共计15属40余种。Sze(1945)曾经报道过坂头组的植物化石,并详细描述了13属14种植物,后来对坂头组的植物化石研究甚少,仅有少数学者对化石名目进行了简单的收集(陈其奭,1991),此次笔者所采集的化石进一步丰富了坂头组的化石记录,而且其中部分化石,尤其是真蕨类化石保存有完好的原位角质层,为研究其微细构造特征提供了宝贵的材料。

枝脉蕨属 *Cladophlebis* 种类繁多,分布遍及全球,是一个广泛应用于中生代的形态属,最初由 Brongniart(1849)所创,用以代表他原先归入栉羊齿属 *Pecopteris*“脉羊齿型”的一些古生代和中生代的种类(Brongniart,1828),后来这些古生代的种经过其他学者的研究都被归入 *Pecopteris* 等不同的属,保留在 *Cladophlebis* 属内的标本都是中生代的标本(斯行健等,1963)。因此枝脉蕨属渐渐地被限于中生代的标本,其特征后来经过许多学者的补充修订(Seward,1894,1911;Gee,1989;Zeiller,1900),与最初的含义也不尽相同。然而栉羊齿属 *Pecopteris* 与枝脉蕨属 *Cladophlebis* 在形态上还是很难区分,有的学者仍然倾向于将古生代的有些标本定为枝脉蕨(Halle,1927;Yabe and Ôishi,1938),还有的学者习惯将有些蕨类的生殖叶化石冠以自然属名,而其营养叶化石又归于枝脉蕨,引起了分类学上的混乱,因此将 *Cladophlebis* 与 *Pecopteris* 及其他自然属区分开,从而改变这种命名上的不合理现状是一项长期而艰巨的工作(斯行健等,1963)。以往对蕨类化石的研究通常侧重于生殖羽片化石及其繁殖器官的解剖学特征分析(邓胜徽,1992;邓胜徽和姚立军,1995;van Cittert,2000;Wang *et al.*,2005,2009),对枝脉蕨这一化石形态属研究甚少,仅局限于其营养羽片的宏观形态描述,对 *Cladophlebis* 的分类命名往往根据小羽片形态及其脉络特征的微细差别,造成了该属植物种类极其繁多,尽管部分种类后来被归并或是废弃,仍多达100余种(Dijkstra and van Amerom,1981),且很多种类之间差别甚微,有时候根本无法区分,种的鉴定亦较困难(王自强,1984;Vakhrameev,1991)。

角质层微细构造特征已被证明可作为许多植物

类群划分的有力依据(Dilcher,1974;Kerp,1990),有关被子植物及裸子植物角质层特征的研究已经取得很大的进展,研究成果颇丰(Sun *et al.*,2004;Worobiec and Szykiewicz,2007),而真蕨类化石由于保存状态及角质层处理难度等原因,几乎没有对其角质层微细构造特征进行过分析(Bodor and Barbacka,2008)。对枝脉蕨这一庞杂的形态属而言,其叶形态特征都比较相似,角质层特征应该可以作为划分其正确分类位置的重要依据。本文详细描述了福建永安坂头组的一新种,永安枝脉蕨 *Cladophlebis yonganensis* Dai et B. N. Sun, sp. nov., 并对其小羽片的解剖学特征进行分析,补充了该属植物角质层微观构造特征的空白,为笔者利用表皮特征来对一些枝脉蕨型的真蕨类化石进行分类鉴定提供了依据。

1 地质地理概况

永安位于闽中偏西,闽中大谷地南端,沙溪河中上游地段,处武夷山脉与戴云山脉的过渡地段。化石采集点位于永安市西南约5 km处的吉山村坂头组一剖面露头,地理坐标为 E117°19'81", N25°57'38" (图1)。

受中生代火山活动的影响,福建境内形成广泛分布的火山、沉积地层,并以政和一大埔断裂为界划分为闽西和闽东两个地层分区(李兼海,1997)。坂头组位于闽西地区,分布于永安、崇安、泰宁等地,为晚侏罗世强烈火山活动结束后在内陆湖盆中堆积而成的一套碎屑岩,其标准剖面为永安吉山剖面,岩性主要为灰绿、灰紫、灰黑色粉砂岩,凝灰质砂岩,泥页岩,夹薄层石英细砂岩、砂砾岩及少量凝灰岩,产丰富的动植物化石(曹宝森等,1990)。坂头组的划分曾存在争议(福建省地质矿产局,1985;李兼海,1997),丁保良等(1989)将吉山剖面原坂头组的上部及中部单独划为吉山组,下部仍称坂头组,这一观点得到了大多数学者的认同,本文所指坂头组亦为丁保良等人所划分之坂头组。

坂头组与下伏南园组呈假整合接触,与上覆吉山组呈整合接触,厚度变化大,对于坂头组的时代归属存在不同的意见,王思恩(1985)等将其归为晚侏罗世,Sze(1945)将其归为早白垩世,后改定为晚侏罗世到早白垩世(李兼海,1994)。根据植物化石的组合特征,大多数学者认为坂头组时代应为早白垩世(曹宝森等,1990;陈其奭,1991),本文亦采纳这一观点。

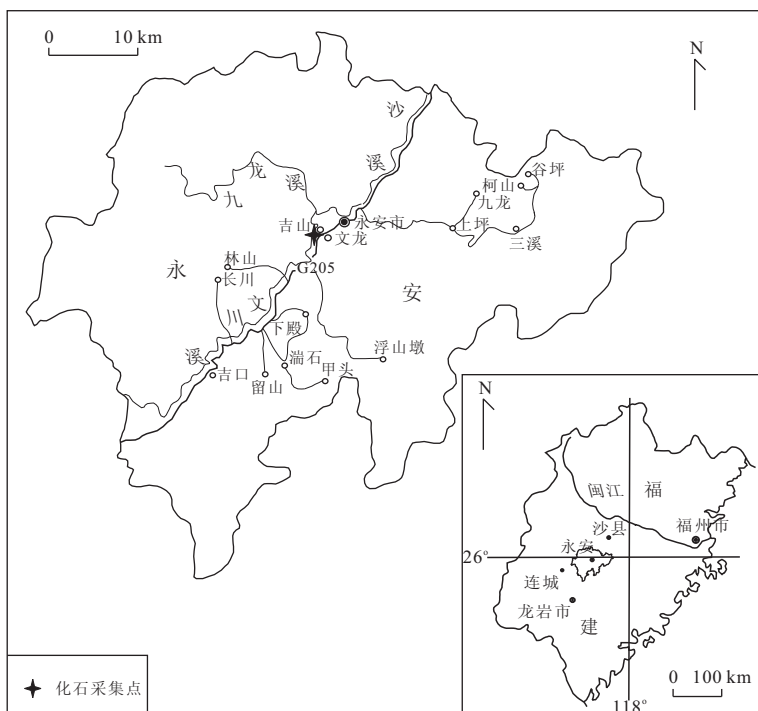


图 1 化石采集点的地理位置

Fig. 1 Locality of fossils in Fujian Province, China

2 材料与方法

所有化石材料及角质层光学薄片均保存于兰州大学资源环境学院古生物与地层研究所. 化石材料采自坂头组下部, 为两枝较大蕨叶的若干碎片, 碳化程度较高, 保存有完好的原位角质层. 为了清楚地观察小羽片的脉络结构特征, 将化石置于 Leica MZ 12.5 立体显微镜下放大观察, 并通过显微镜附带的拍照系统和软件 (Leica Qwindows 3) 对各个细节进行拍照.

角质层处理方法如下: 先用解剖针将炭质膜剥下, 置于 50% HF 中浸泡 2~6 h 除去上面的硅酸盐类物质, 用蒸馏水冲洗后置于 10% HCl 中浸泡 5~10 h 除去碳酸盐物质, 用蒸馏水冲洗后置于舒氏液中 (2HNO₃:KClO₃) 中浸泡数小时至数天, 每间隔 20 h 左右更换一次溶液, 期间观察角质层的变化, 待颜色变为近透明的棕黄色时取出用蒸馏水清洗至中性, 然后用 10% 的 NH₄OH 溶液处理 10 min 左右, 等上下表皮分开时取出, 用蒸馏水冲洗干净. 然后在 10% 番红溶液中染色 20 min 左右, 取出用甘油制片, 指甲油封片, 在带有摄像头的 Leica DM4000B 多功能高级生物显微镜下拍照.

3 结论

3.1 化石标本的特征描述

枝脉蕨属 *Cladophlebis* Brongniart

永安枝脉蕨 *Cladophlebis yonganensis* Dai et B. N. Sun, sp. nov. (图 3, 4)

种名词源: 以化石产出地永安的拼音 yongan 命名

模式标本: YAJ3-62: 1, 2, 3, 4

副模标本: YAJ3-63: 1, 2, 3, 4, 5

模式产地: 福建省永安市吉山村

模式层位: 下白垩统坂头组

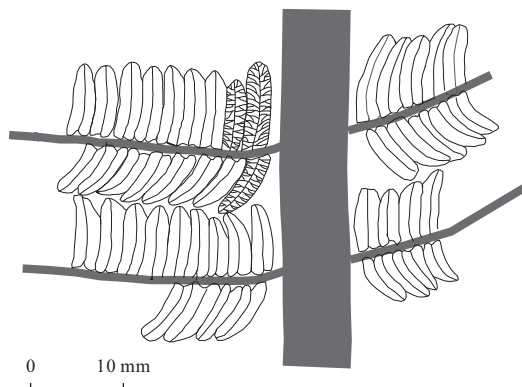


图 2 *Cladophlebis yonganensis* 素描

Fig. 2 Line drawing of *Cladophlebis yonganensis*

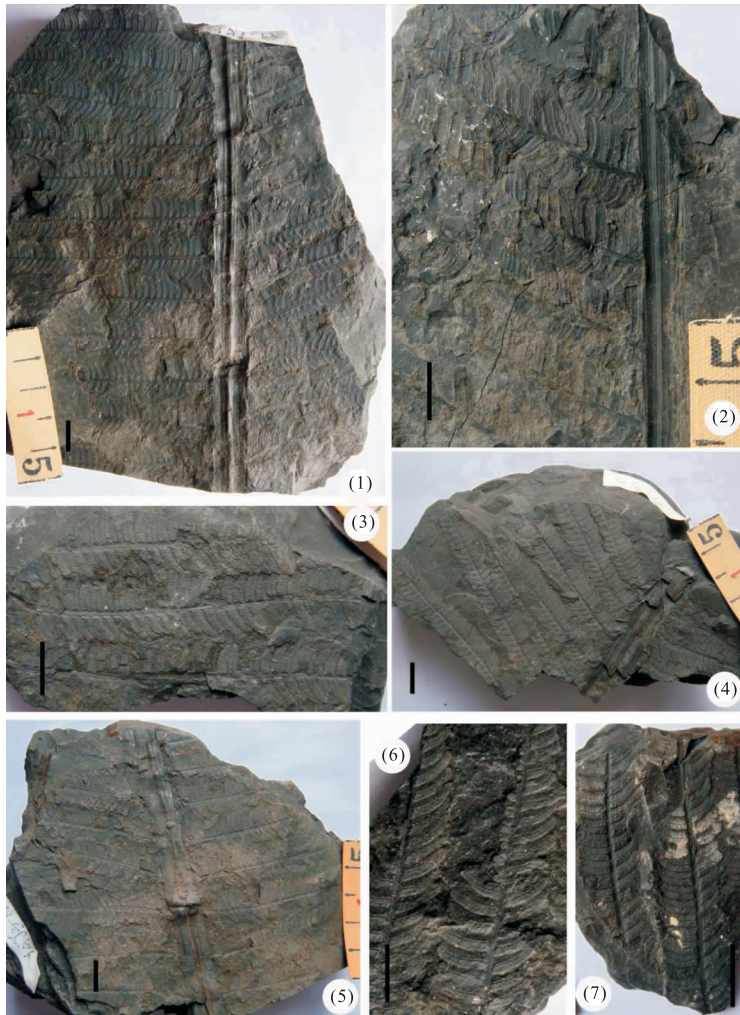


图 3 *Cladophlebis yonganensis* sp. nov. 蕨叶形态特征

Fig. 3 Gross morphology of *Cladophlebis yonganensis* sp. nov.

1. 末二次羽片的中间部分,可见末次羽片相互掩复,近对生,标本编号:YAJ3-62-1;2. 末二次羽片靠下边的部分,标本编号:YAJ3-62-3;3. 末次羽片,标本编号:YAJ3-63-3;4. 末二次羽片靠下边的部分,可见末次羽片以较大角度着生于羽轴,标本编号:YAJ3-63-1;5. 末二次羽片的中间部分,可见羽轴上的突起及细沟,标本编号:YAJ3-63-2;6. 末次羽片,可见其顶端渐尖形,标本编号:YAJ3-62-4;7. 末次羽片,可见小羽片近对生,标本编号:YAJ3-63-4;比例尺=1 cm

模式标本保存地:兰州大学古生物学与地层学研究所

种征:蕨叶至少 2 次羽状分裂,末二次羽轴粗,末次羽轴较细,基部下延,与末二次羽轴夹角 $80^{\circ} \sim 95^{\circ}$ 左右;末次羽片互相接触或掩复,近于对生;小羽片较小,长椭圆形或宽线形,全缘,基部稍作耳状收缩,顶端钝圆或微尖,排列紧密,近直角着生于末次羽轴上;中脉明显,达小羽片末端,侧脉多数以较小角度作一次分叉;边缘附近侧脉较密集。角质层极薄,上表皮细胞轮廓不清晰,无气孔器,偶见乳突状突起及毛状体;下表皮具气孔器,无规则型,在脉络细胞两侧呈带状排列;脉络细胞长方形或拉长呈条状;垂周壁直或微弯,略加厚,平周壁似呈折皱状;气

孔器近圆形,大小约 $18 \sim 25 \mu\text{m}$;保卫细胞角质化程度弱,副卫细胞分化不明显,气孔器拱盖(stomatal ledge)发育,孔口呈星子形。

标本描述:标本描述依据所采集的 9 块标本。蕨叶较大,至少 2 次羽状分裂,末二次羽轴较粗,宽达 $7 \sim 10 \text{ mm}$,表面具平行的纵沟和不规则的瘤状突起及细纵纹(图 3:1,5);末二次羽片整体形态不明,但羽片较大,保存长度 50 cm 左右,很可能为长卵形;末次羽轴宽 $1.3 \sim 1.6 \text{ mm}$ 左右,表面具两平行的纵沟,基部下延,与末二次羽轴夹角 $80^{\circ} \sim 95^{\circ}$ 左右;末次羽片互相接触或掩复,排列较紧密,以宽角着生于轴上,近于对生,线形,长度一般在 8 cm 以上,宽约 $1.8 \sim 2.5 \text{ cm}$,最大宽度在羽片的中下部,往顶端方

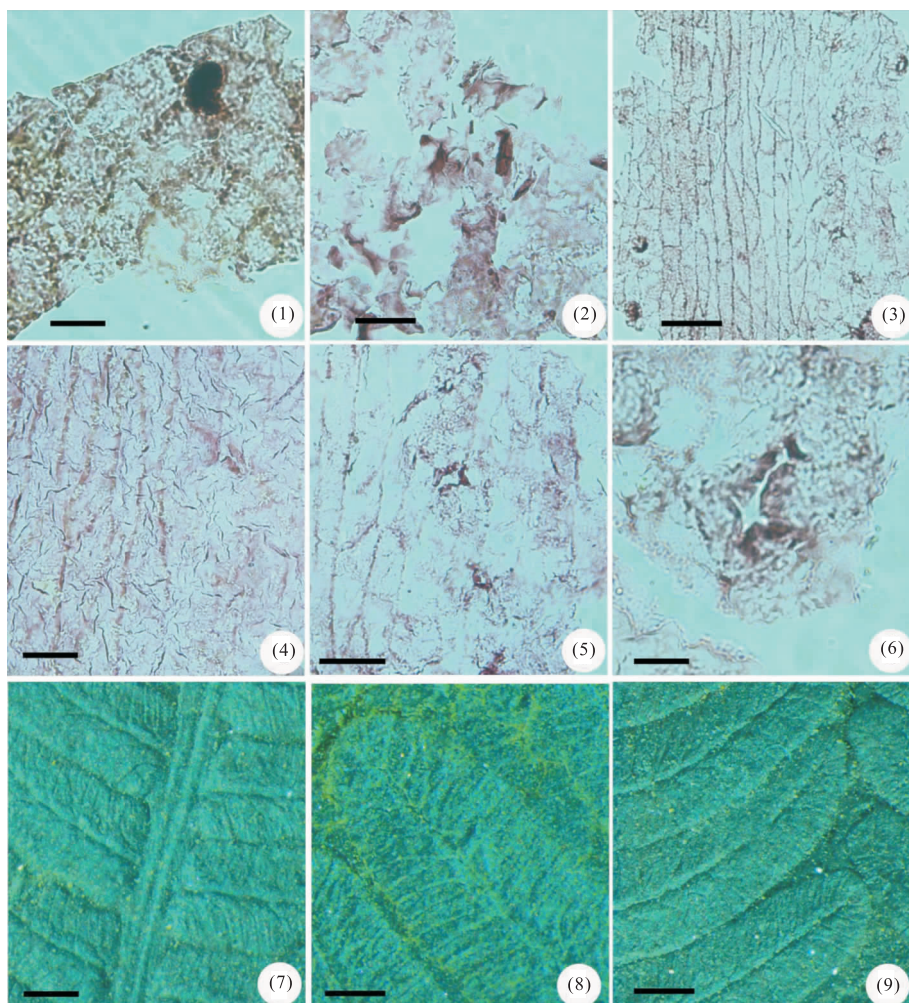


图4 *Cladophlebis yonganensis* sp. nov. 小羽片角质层及其形态特征

Fig. 4 Cuticle feature from the pinnules of *Cladophlebis yonganensis* sp. nov.

1. 上表皮, 无气孔器, 细胞轮廓不清晰, 比例尺 = 30 μm ; 2. 上表皮, 可见表皮毛, 比例尺 = 30 μm ; 3. 下表皮, 示气孔器呈纵向带状排列, 比例尺 = 100 μm ; 4. 下表皮, 示垂周壁和平周壁的特征, 比例尺 = 30 μm ; 5. 下表皮, 比例尺 = 50 μm ; 6. 气孔器, 可见明显的拱盖, 比例尺 = 15 μm ; 7~9: 立体显微镜下小羽片的形态及脉络特征, 7. 小羽片基部特征, 8. 小羽片的侧脉分叉特征, 9. 小羽片顶端特征, 比例尺 = 1 mm; 其中 1 来自标本 YAJ3-62-1, 2 来自标本 YAJ3-62-3, 3~6 来自标本 YAJ3-63-4, 7~9 来自标本 YAJ3-63-2

向缓缓变窄, 顶端渐尖(图 3: 2, 4, 6); 小羽片较小, 直或微弯曲, 彼此互相紧靠, 排列紧密, 近对生或互生, 基部以较大的角度或近于直角着生于末次羽轴上(图 3: 3, 7; 图 4: 7); 小羽片呈长椭圆形或宽线形, 稍弯曲呈镰刀状, 靠近羽片顶端呈三角形, 全缘, 长约 7~12 mm, 宽约 2.5~4.5 mm, 基部稍作耳状收缩, 顶端钝圆, 亚圆或微尖(图 4: 7, 9); 中脉明显, 微弯曲, 达小羽片末端, 侧脉以 $45^\circ\sim 60^\circ$ 角从中脉伸出, 基本上在靠近中脉处以 $10^\circ\sim 20^\circ$ 角作一次分叉后前一支脉微斜向上方, 少数作二次分叉; 边缘附近侧脉较密集, 每边约 22~28 条(图 2; 图 4: 8, 9).

角质层非常薄, 上表皮无气孔器, 细胞轮廓不清晰, 垂周壁略加厚, 平周壁不明显, 偶见乳突状突起及

毛状体(图 4: 1, 2). 下表皮具气孔器, 为无规则型, 在脉络细胞两侧呈带状排列(图 4: 3, 5); 非气孔带细胞纵向排列, 由 9~12 列脉络细胞组成, 宽约 280~370 μm ; 细胞长方形或拉长呈条状, 长度一般在 100 μm 以上, 宽约 20~30 μm (图 4: 3); 垂周壁直或稍作波状, 略加厚; 平周壁呈波状突起, 表面具有乳突, 似呈折皱状(图 4: 4); 气孔亦呈带状排列, 彼此之间间隔约 60~80 μm ; 气孔器圆形或椭圆形, 大小约 18~25 μm ; 保卫细胞角质化程度弱, 深下陷, 表面似乎极薄而发生破裂, 副卫细胞分化不明显; 气孔器拱盖(stomatal ledge)发育, 孔口呈星子形(图 4: 5, 6).

3.2 化石标本与 *Cladophlebis* 相似种类的比较

很多学者都通过小羽片形态、羽轴宽度、侧脉分

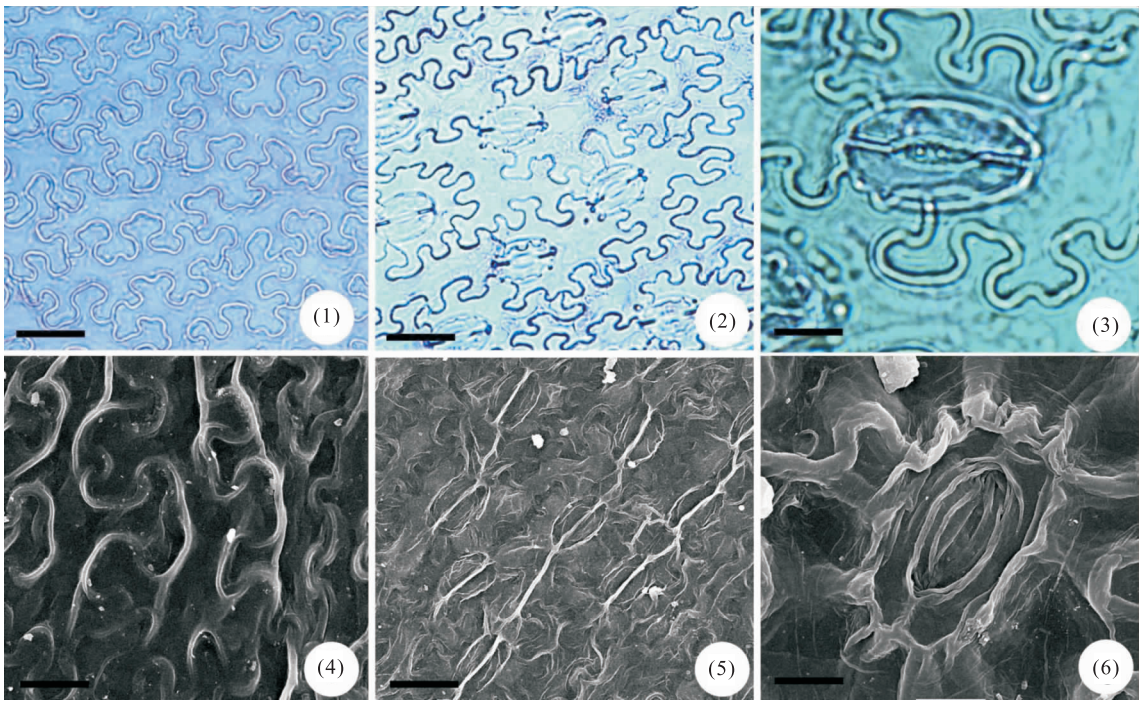


图 5 现生 *Osmunda japonica* 表皮特征

Fig. 5 Cuticle features of modern species *Osmunda japonica*

1. 上表皮,垂周壁弯曲,无气孔器,取自小羽片基部,比例尺=50 μm ; 2. 下表皮,可见气孔器呈带状排列,取自小羽片基部,比例尺=50 μm ; 3. 气孔器,可见肾形的保卫细胞,取自小羽片基部,比例尺=15 μm ; 4. 上表皮,无气孔器,取自小羽片中部,比例尺=30 μm ; 5. 下表皮,可见气孔器呈带状排列,取自小羽片中部,比例尺=50 μm ; 6. 气孔器,取自小羽片中部,比例尺=10 μm ; 1~3 为光学显微镜下照片,4~6 为扫描电镜下照片

叉次数等特征对 *Cladophlebis* 进行分类 (Herbst, 1971; Zhou, 1989; 邓胜徽, 1993; Schweitzer *et al.*, 1997), 然而对其属内各个种的鉴定仍存在一定困难, 因小羽片的形态、间距、大小、侧脉分叉次数等特征在同一蕨叶的不同部位亦可能不一样 (Rees and Cleal, 2004; Cantrill and Hunter, 2005); 同一种类的形态特征也可能受到生活条件, 如光照、土壤等环境因素的影响而有所不同 (Caponetti, 1972; Chaloner and Creber, 1990). Bodor and Barbacka (2008) 通过大量枝脉蕨化石 12 个形态特征的统计分析, 提出小羽片的叶缘、侧脉 (lateral veins) 从中脉伸出的角度及其分叉角度和次数、小羽片边缘的侧脉密度这些特征比较稳定, 一定程度上可以作为种的鉴定依据 (van Cittert, 1966; Kostina and Doludenko, 1997).

当前标本小羽片较小, 彼此紧靠, 以近直角着生于末次羽轴, 呈指状, 全缘, 顶端微圆, 可区别于枝脉蕨属大多数种类, 如 *Cladophlebis australis* Morris, *Cladophlebis denticulata* (Brongniart) Fontaine, *Cladophlebis harrisii* van Cittert, *Cladophlebis antarctica* Halle, *Cladophlebis raciborskii*

Zeiller, *Cladophlebis nebbensis* (Brongniart) Nathorst, *Cladophlebis uralica* Prynada, *Cladophlebis aktashensis* Turntanova-Ketova 等 (Oishi, 1940; Frenquelli, 1947; Gee, 1989; Mcloughlin *et al.*, 1995; Barbacka and Bodor, 2008), 同我国北方区多数小羽片较大型的种类, 如 *Cladophlebis asiatica* Chow et Yeh, *Cladophlebis tsaidamensis* Sze, *Cladophlebis exiliformis* (Geyler) Oishi, 以及英国的 *Cladophlebis haiburnensis* Brongniart (Harris, 1961; Popa, 1997) 亦有较大区别, 当前标本与早白垩世 Wealden 期的 *Cladophlebis browniana* (Dunker) Seward, *Cladophlebis dunkeri* (Schimper) Seward, 以及斯行健等 (1963) 所描述的 *Cladophlebis argutula* (Heer) Fontaine (图 2)、*Cladophlebis hsiehiana* Sze (图 4, 5)、*Cladophlebis ichüenensis* Sze (图 1), 张武等 (1980) 所描述的 *Cladophlebis acute* Fontaine (图 1 和图 2), 曹正尧 (1999) 所建立的新种 *Cladophlebis paltyrachis* Cao (图 1~图 6) 比较相似 (表 1). 然而, *C. argutula* 和 *C. hsiehiana* 小羽片狭长, 直而不呈镰刀形, 彼此间距较大, 可区别于当前标本; *C. ichüenensis* 和 *C. a-*

表 1 *Cladophlebis yonganensis* 与其相似种类形态特征的比较Table 1 Leaf morphological comparisons of *Cladophlebis yonganensis* with selected similar species of *Cladophlebis*

特征	<i>C. yonganensis</i>	<i>C. argutula</i>	<i>C. hsiehiana</i>	<i>C. browniana</i>	<i>C. ichünensis</i>	<i>C. acute</i>	<i>C. paltyrachis</i>	<i>C. dunkeri</i>
末二次羽轴宽度(mm)	7~10	未知	7	2~3	≥3	4~5	13	2.5
末次羽轴宽度(mm)	1.3~1.6	未知	未知	0.8~1	较粗	1	未知	较细
末次羽片间距(cm)	互相接触或掩盖,少数稍分离	1.5~2.5	互相接触或稍分离	排列紧密但不接触	未知	1.8~2	互相紧靠	排列紧密
末次羽片着生角度	80°~95°	40°~50°	50°~70°	60°	近 90°	45°~50°	50°~70°	未知
小羽片形态	长椭圆形或宽线形	披针形,较直	披针形,直	长方形或线形	长方形或长椭圆形	镰刀形	镰刀状,指形	镰刀形或披针形
小羽片顶端特征	钝圆,亚圆或微尖	亚尖	尖	钝圆,或微尖	钝而圆	尖或亚圆	钝圆	方圆或钝圆
小羽片基部特征	耳状,略收缩	较宽,微下延	较宽,微下延	较宽,彼此分离	较宽,微微下延	宽,微连接	下延,不对称	较宽,微下延
小羽片长度(mm)	7~12	8~9	未知	6~12	≤11	9~10	4	5~8
小羽片宽度(mm)	2.5~4.5	3~4	未知	2~5	≤4	3.5~4	1.5	2~3
小羽片叶缘特征	全缘	全缘	全缘	全缘	全缘	全缘,少数波状	全缘	全缘
小羽片着生角度	75°~90°	近 90°	近 90°	近于 60°	60°~70°	近 90°	≥70°	未知
小羽片间距	彼此紧靠或接触	互相连接或分离	互相连接或分离	紧靠或稍分离	紧挤或接触	紧靠或稍分离	接触或微分离	彼此紧靠
中脉特征	明显,微弯曲,达小羽片顶端	微弱	微弱	明显,达小羽片顶端	弯曲,未达顶端	明显,强直,达顶端	明显,达顶端	适中,达顶端
侧脉分叉次数	多数一次,少数二次	一次或二次	二次	一次或不分叉	一次	一次	一次或不分叉	一次或不分叉
侧脉与中脉夹角	45°~60°	未知	未知	未知	40°	45°	未知	未知
侧脉数量(条/边)	22~28	5~7	紧密	较少	14~20	8~10	6~7	较少
参考文献	本文	斯行健等, 1963	斯行健等, 1963	曹正尧, 1999	斯行健等, 1963	张武等, 1980 尹殿奎, 2008	曹正尧, 1999	Sze, 1945

cute 羽轴均较永安的标本细,且两者侧脉较松,自中脉伸出后在近基部分叉一次后不再分叉,亦不同于当前标本;*C. paltyrachis* 羽轴特征及小羽片的形状都与当前标本相似,但前者侧脉一次分叉或不分叉,叶缘附近侧脉数量较少,每边仅 6~7 条;*C. browniana* 和 *C. dunkeri* 是欧洲早白垩世 *Wealden* 期的重要植物,在我国早白垩世南方植物区也有过报道 (Sze, 1945; 曹正尧等, 1995), 两者的羽轴较当前标本细得多,而且侧脉均较少,一次分叉或不分叉,可区别于当前标本. 由于上述化石均没有表皮特征的分析,无法进一步比较.

4 讨论

Cladophlebis 是中生代最常见的真蕨类形态属,归入该属的标本种类极其复杂,其中一些小羽片较大的种被认为与紫萁科有关,小羽片中小型的种类则可能与里白科、海金沙科有关 (邓胜徽和陈芬, 2001). 当前标本叶片形态与紫萁科似托第蕨属 *Todites* 和紫萁属 *Osmunda*, 里白科似里白属 *Gleichenites*, 以及海

金沙科克鲁克蕨属 *Klukia* 的营养叶化石比较相似,中生代一些枝脉蕨化石后来经过材料的补充研究多数也被归于上述自然属内. 然而,里白科化石 *Boodlepteris turoniana Gandolfo* 和 *Gleichenia chaloneri Herendeen and J Skog* 虽然羽片都为枝脉蕨型,但上、下表皮均具有表皮毛,垂周壁波状弯曲呈迷宫状,气孔器无规则型,具肾形的保卫细胞 (*Gandolfo et al.*, 1997; *Herendeen and Skog*, 1998), 不同于当前标本;紫萁科和海金沙科的化石则缺乏角质层特征的研究,无法与当前标本进一步比较. 笔者观察了现生紫萁科 *Osmunda joponsica* 不同部位小羽片的角质层特征,其上、下表皮的垂周壁均呈波状弯曲,且弯曲程度较大,下表皮气孔器呈带状排列,保卫细胞肾形,两极具 T 形加厚,孔口较窄,脉络上偶见表皮毛 (图 5), 这些特征与当前标本有很大区别. 根据 *Thurston* (1969) 对蕨类气孔类型的分类, *Osmunda joponsica* 气孔器为 2b 型,即气孔器由母细胞经过两次分裂形成,具有一个副卫细胞,保卫细胞与副卫细胞的两侧壁均接触. 现生里白科、海金沙科的气孔器类型也大多为 2a 或 2b 型,处于蕨类演化的中间位置 (*Thurston*, 1969). 当

前化石标本气孔器为 1 型或无规则型,即气孔器由母细胞经过一次分裂形成,不具有副卫细胞,是比较原始的类型。

叶表皮细胞形态和气孔特征已经被证明可以作为现代蕨类分类的基本依据之一(吴兆洪和秦仁昌,1991),但对于化石而言,由于角质层较薄,难保存且不易分离,研究很少(邓胜徽和陈芬,2001;Deng,2002),尚不能进行广泛的比较。而当前标本角质层特征与已知的里白科化石明显不同;而且其气孔器类型为 1 型,保卫细胞两极无 T 形加厚,垂周壁较直,表皮细胞多为长方形,亦明显不同于现代蕨类的叶表皮细胞特征(Inamdar et al., 1971; Mehra and Soni, 1983; Sen and De, 1992)。当前标本尽管在形态上与 Klukia 和 Todites 也比较形似,但缺乏繁殖器官的证据,且角质层特征不能进行对比,不应该将其归为上述自然属或者另建新属。经过上述表皮特征的详细研究及其对比,笔者认为该标本可能代表了中生代某一已经灭绝的真蕨类植物,其气孔器类型比现代多数蕨类原始,垂周壁较直,与已知角质层特征的化石蕨类亦不相同,由于缺乏足够的证据,笔者暂时将永安的标本归为枝脉蕨属,并命名为新种 *Cladophlebis yonganensis* sp. nov., 如果将来有一富的材料,或者有更多关于真蕨类化石角质层特征的研究资料,将对永安标本的具体分类位置进行更深入的分析。

致谢:感谢兰州大学丁素婷、陈小耀、陈文煌帮助采集化石标本。

References

Barbacka, M., Bodor E., 2008. Systematic and palaeoenvironmental investigations of fossil ferns *Cladophlebis* and *Todites* from the Liassic of Hungary. *Acta Palaeobotanica*, 48(2): 133—149.

Bodor, E., Barbacka M., 2008. Taxonomic implications of Liassic ferns *Cladophlebis* Brongniart and *Todites* Seward from Hungary. *Palaeoworld*, 17(3—4): 201—214. doi: 10.1016/j.palwor.2008.04.001

Brongniart, A., 1828. Prodrome d'une histoire des végétaux fossiles. F. G. Levrault, Paris.

Brongniart, A., 1849. Tableau des genres de Végétaux fossiles considérés sous le point de vue de leur classification botanique et de leur distribution géologique. Dictionnaire Universel d'Historie Naturelle, Paris, 127.

Cantrill, D. J., Hunter, M. A., 2005. Macrofossil floras of the Latady basin, Antarctic Peninsula. *N Z J. Geol. Geo-*

phys., 48(3): 537—553. doi:10.1080/00288306.2005.9515132

Cao, B. S., Liang, S. J., Zhang, X. Q., et al., 1990. Restudy of the Jishan section of Yongan, Fujian. *Journal of Stratigraphy*, 14(1): 62—69 (in Chinese with English abstract).

Cao, Z. Y., 1999. Early Cretaceous Flora of Zhejiang. Science Press, Beijing, 85—87 (in Chinese).

Cao, Z. Y., Liang, S. J., Ma, A. S., 1995. Fossil plants from Early Cretaceous Nanyuan Formation in Zhenghe, Fujian. *Acta Palaeontologica Sinica*, 34(1): 1—17 (in Chinese with English abstract).

Caponetti, J. D., 1972. Morphogenetic studies on excised leaves of *Osmunda cinnamomea*: morphological and histological effects of sucrose in sterile nutrient culture. *Botanical Gaz.*, 133(4): 421—435.

Chaloner, W. G., Creber, G. T., 1990. Do fossil plants give a climatic signal? *Journal of the Geological Society*, 147(2): 343—350. doi:10.1144/gsjgs.147.2.0343

Chen, Q. S., 1991. Age and correlation of the Bantou Formation in Fujian. *Journal of Stratigraphy*, 15(4): 278—284 (in Chinese with English abstract).

Deng, S. H., 1992. New material of Filicopsida of the Early Cretaceous flora from Tiefu basin, Liaoning Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 17(1): 7—14 (in Chinese with English abstract).

Deng, S. H., 1993. Four new species of Early Cretaceous ferns. *Geoscience*, 7(3): 255—260 (in Chinese with English abstract).

Deng, S. H., 1995. New materials of the Early Cretaceous monolete spore ferns and their taxonomic study. *Acta Botanic Sinica*, 37(6): 483—491 (in Chinese with English abstract).

Deng, S. H., 2002. Ecology of the Early Cretaceous ferns of Northeast China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 119(1—2): 93—112. doi:10.1016/S0034—6667(01)00131—2

Deng, S. H., Chen, F., 2001. The Early Cretaceous Filicopsida from northeast China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Deng, S. H., Yao, L. J., 1995. Technique and significance of study on microstructure of reproductive organ in situ of fossil fern. *Geoscience*, 9(1): 19—26 (in Chinese with English abstract).

Ding, B. L., Lan, S. X., Wang, Y. P., 1989. Nonmarine Juro-Cretaceous Volcano-sedimentary strata and biota of Zhejiang, Fujian and Jiangxi. Jiangsu Science and Tech-

- nology Publishing House, Nanjing.
- Dijkstra, S. J., van Amerom, H. W. J., 1981. Fossilium Catalogus, II; Plantae, Pars 33; Filicales, Pteridospermae, Cycadales, 2. Supplement. Kugler Publications, Amsterdam, 143.
- Dilcher, D. L., 1974. Approaches to the identification of angiosperm leaf remains. *Botanical Review*, 40 (1): 1—157. doi: 10.1007/BF02860067
- Frenquelli, J., 1947. El género “Cladophlebs” y sus representantes en la Argentina. *Ana. Mus. La Plata, N. ser. Paleont. Sec. B; Paleobot.*, 2, 1—74.
- Gandolfo, M. A., Nixon, K. C., Crepet, W. L., et al., 1997. A new fossil fern assignable to Gleicheniaceae from Late Cretaceous sediments of New Jersey. *American Journal of Botany*, 84(4): 483—493.
- Gee, C. T., 1989. Revision of the Late Jurassic/Early Cretaceous flora from Hope bay, Antarctica. *Palaeontographica Abt B*, 213: 149—214.
- Geology and Mineral Resources Prospecting and Developing Bureau in Fujian, 1985. Regional geology of Fujian Province. Geology Press, Beijing (in Chinese).
- Halle, T. G., 1927. Fossil plants from southwestern China. *Paleontologia Sinica, Series A, Vol. I, Fascicle 2*.
- Harris, T. M., 1961. The Yorkshire Jurassic flora, I; Thallophyta, Pteridophyta. Trustees of the British Museum (Natural History), London, 212.
- Herbst, R., 1971. Revision de las especies Argentinas del género *Cladophlebis*. *Ameghiniana*, 8 (3—4): 265—281.
- Herendeen, P. S., Skog, J. E., 1998. *Gleichenia chaloneri*—a new fossil fern from the Lower Cretaceous (Albian) of England. *Int. J. Plant Sci.*, 159(5): 870—879.
- Inamdar, J. A., Patel, R. C., Bhatt, D. C., 1971. Structure and development of stomata in some leptosporangiate ferns. *Ann Bot.*, 35(3): 643—651.
- Kerp, H., 1990. The study of fossil gymnosperms by means of cuticular analysis. *Palaios*, 5(6): 548—569.
- Kostina, E. I., Doludenko, M. P., 1997. Ferns from Middle Jurassic of the Kansk Coal basin (Siberia). *Paleont. J.*, 31(2): 178—188.
- Li, J. H., 1994. Classification and correlation of Late Jurassic-Cretaceous continental volcanic rock strata in Fujian Province. *Geology of Fujian*, 13(4): 204—247.
- Li, J. H., 1997. Lithostratigraphy in Fujian Province. China University of Geosciences Press, Wuhan, 112—151 (in Chinese).
- Ma, A. S., 1998. Main characteristics of Carboniferous-Cretaceous Palaeontologic assemblages in Fujian Province. *Geology of Fujian*, 4: 188—202 (in Chinese with English abstract).
- Mcloughlin, S., Drinnan, A. N., Rozefelds, A. C., 1995. A Cenomanian flora from the Winton Formation, Eromanga basin, Queensland, Australia. *Memoirs of the Queensland Museum*, 38(1): 273—313.
- Mehra, P. N., Soni, S. L., 1983. Stomatal patterns in Pteridophytes—an evolutionary approach. Proceedings of the Indian National Science Academy, Part B; Biological Sciences, 49(2): 155—203.
- Oishi, S., 1940. The Mesozoic Floras of Japan. *Jour. Fac. Sci., Ser. 4, Geol. Mineral.*, 5(2—4): 123—480.
- Popa, M., 1997. Liassic ferns from the Steierdorf Formation, Anina, Romania. In: Herengreen, G. F. W., ed., Proceedings of the 4th European Palaeobotanical and Palynological Conference. Mededelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 58: 139—147.
- Rees, P. M., Cleal, C. J., 2004. Lower Jurassic floras from Hope bay and Botany bay, Antarctica. *Spec. Pap. Palaeont.*, 72: 1—90.
- Schweitzer, H. J., van Konijnenburg-van Cittert, J. H. A., van der Burgh, J., 1997. The Rhaeto-Jurassic flora of Iran and Afganistan. 10. Bryophyta, Lycophyta, Sphenophyta, Pterophyta-Eusporangiateae and Protoleptosporangiateae. *Palaeontographica B*, 243 (4—6): 103—192.
- Sen, U., De, B., 1992. Structure and ontogeny of stomata in ferns. *Blumea*, 37: 239—261.
- Seward, A. C., 1894. Catalogue of the Mesozoic plants in the Department of Geology British Museum (Natural History). The Wealden Flora, Pt. I, Thallophyta, Pteridophyta, London.
- Seward, A. C., 1911. The Jurassic Flora of Stutterland. *Trans. Roy. Soc., Edinburgh*.
- Si, X. J., Li, X. X., Li, P. J., et al., 1963. Fossil plants of China II, Mesozoic plants from China. Science Press, Beijing, 287—289 (in Chinese).
- Sun, B. N., Yan, D. F., Xie, S. P., et al., 2004. Palaeogene fossil populus leaves from Lanzhou basin and their palaeoclimatic significance. *Chinese Science Bulletin*, 49 (13): 1283—1289. doi: 10.1007/BF03036888
- Sze, H. C., 1945. The Cretaceous flora from the Pantou series in Yungan, Fukien. *Journal of Paleontology*, 19 (1): 45—59.
- Thurston, E. L., 1969. Taxonomic significance of stomatal patterns in the ferns. *American Fern Journal*, 59(2): 68—79.
- Vakhrameev, V. A., 1991. Jurassic and Cretaceous floras and

- climates of the earth. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 318.
- van Cittert, J. H. A., 1966. Palaeobotany of the mesophytic II, new and noteworthy Jurassic ferns from Yorkshire. *Acta Botanica Neerlandica*, 15: 284—289.
- van Cittert, J. H. A., 2000. Osmundaceous spores throughout time. In: Harley, M. M., Morton, C. M., Blackmore, S. eds., *Pollen and spores: morphology and biology*. Royal Botanic Gardens, Kew, 435—449.
- Wang, S. E., 1985. Chinese strata (11) — The Jurassic of China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, Y. D., Cao, Z. Y., Thévenard, F., 2005. Additional data on *Todites* (Osmundaceae) from the Lower Jurassic with special references to the palaeogeographical and stratigraphical distributions in China. *Geobios*, 38(6): 823—841. doi: 10.1016/j.geobios.2004.06.005
- Wang, Y. D., Yang, X. J., Guignard, G., et al., 2009. The fossil Gleicheniaceae ferns of China: biodiversity, systematics, spore ultrastructure and evolution. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 156(1—2): 139—156. doi: 10.1016/j.revpalbo.2008.09.005
- Wang, Z. Q., 1984. Plant Kingdom. In: Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources. Paleontological Atlas of North China II, Mesozoic Volume. Geological Publishing House, Beijing, 236—252 (in Chinese).
- Worobiec, G., Szykiewicz, A., 2007. Betulaceae leaves in Miocene deposits of the Belchatów Lignite Mine (Central Poland). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 147(1—4): 28—59. doi: 10.1016/j.revpalbo.2007.06.001
- Wu, Z. H., Qing, R. C., 1991. Pteridophyte in China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Yabe, H., Ôishi, S., 1938. Notes on some fossil plants from Fukien Province, China. *Science Reports of the Tohoku Imperial University. 2nd Series, Geology*, 19(2): 221—A28.
- Yin, D. K., 2008. Ferns from the Early Cretaceous Changcai Formation in Yanbian area, Jilin. Jilin University, Jilin, 54—56 (in Chinese with English abstract).
- Zeiller, R., 1900. Sur quelques plantes fossiles de la Chine méridionale, Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'académie des sciences, Paris.
- Zhang, W., Zhang, Z. C., Zheng, S. L., 1980. Class Coniferales. In: Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources. Palaeontological Atlas of Northeast China, 2, Mesozoic and Cenozoic volume. Geological Publishing House, Beijing, 291—307 (in Chinese).
- Zhou, Z. Y., 1989. Late Triassic plants from Shaqiao, Hengyang, Hunan Province. *Paleotologia Cathayana*, 4: 131—197.

附中文参考文献

- 曹宝森, 梁诗经, 张小勤, 等, 1990. 福建永安吉山剖面的再研究. *地层学杂志*, 14(1): 63—69.
- 曹正尧, 梁诗经, 马爱双, 1995. 福建政和早白垩世南园组植物化石. *古生物学报*, 34(1): 1—17.
- 曹正尧, 1999. 浙江早白垩世植物群. 北京: 科学出版社, 85—87.
- 陈其爽, 1991. 论福建坂头组的时代及对比. *地层学杂志*, 15(4): 278—284.
- 邓胜徽, 1992. 辽宁铁法盆地早白垩世植物群中的真蕨植物新材料及其原位孢子. *地球科学——中国地质大学学报*, 17(1): 7—14.
- 邓胜徽, 1993. 早白垩世真蕨植物化石的四个新种. *现代地质*, 7(3): 255—260.
- 邓胜徽, 1995. 早白垩世单缝孢真蕨植物新材料及其分类归属. *植物学报*, 37(6): 483—491.
- 邓胜徽, 陈芬, 2001. 中国东北地区早白垩世真蕨类植物. 北京: 地质出版社.
- 邓胜徽, 姚立军, 1995. 蕨类植物化石繁殖器官微观构造研究方法及其意义. *现代地质*, 9(1): 19—26.
- 福建省地质矿产局, 1985. 福建省区域地质志. 北京: 地质出版社, 139—144.
- 丁保良, 蓝善先, 汪迎平, 1989. 浙闽赣地区非海相侏罗—白垩纪火山、沉积地层及生物群. 南京: 江苏科学技术出版社.
- 李兼海, 1994. 福建省晚侏罗世—白垩纪陆相火山岩地层划分、对比研究. *福建地质*, 13(4): 204—247.
- 李兼海, 1997. 福建省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 112—151.
- 马爱双, 1998. 福建省石炭纪—白垩纪古生物群主要特征. *福建地质*, 4: 188—202.
- 斯行健, 李星学, 李佩娟, 等, 1963. 中国植物化石, 第二册, 中国中生代植物. 北京: 科学出版社, 287—289.
- 王思恩, 1985. 中国地层(11)—中国的侏罗系. 北京: 地质出版社.
- 王自强, 1984. 古植物. 见: 天津地质矿产研究所. 华北地区古生物图册(二), 中生代分册. 北京: 地质出版社, 236—252.
- 吴兆洪, 秦仁昌, 1991. 中国蕨类植物科属志. 北京: 科学出版社.
- 尹殿奎, 2008. 吉林延边地区早白垩世长财组的蕨类植物. 吉林: 吉林大学博士学位论文, 54—56.
- 张武, 张志诚, 郑少林, 1980. 古植物. 见: 沈阳地质矿产研究所. 东北地区古生物图册(二), 中生代分册. 北京: 地质出版社, 291—307.