

# 新疆西准噶尔中泥盆世呼吉尔斯特植物群的特征、时代、古环境以及古植物地理学意义<sup>\*</sup>

徐洪河 蒋 青 张小乐 王 恽 傅 强 冯 净

(现代古生物学和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, 南京 210008, hxxu@nigpas.ac.cn)

**摘要** 阐述呼吉尔斯特植物群的定义、分布、时代、组成和特点。呼吉尔斯特植物群主要代表我国北方区中泥盆世晚期的植物群, 其具有全球广布型属种, 也具有特化型植物。该植物群生物量巨大, 发育小规模森林, 也形成了若干薄的煤层, 成煤植物和森林冠层植物为石松类。结合该植物群化石埋藏学、沉积岩石学、煤岩学等研究, 对呼吉尔斯特植物群的古环境以及古植物地理学意义进行探讨, 提出: 呼吉尔斯特组若干条保存有丰富植物化石和煤层的剖面, 代表中泥盆世晚期区域性的陆相沉积环境, 新疆西准噶尔在中泥盆世是重要的植物迁徙大陆桥。

**关键词** 古植物 古环境 呼吉尔斯特组 泥盆纪 新疆

## 1 前 言

随着我国泥盆纪植物研究的深入开展, 基于我国泥盆纪地层中丰富而完整的化石记录, 学者们开展泥盆纪植物分类学与演化生物学研究的同时, 也识别出了我国泥盆纪的若干植物群, 其中主要有: 早泥盆世 Pragian 期的坡松冲植物群 (Hao and Xue, 2013)、早泥盆世 Emsian 期的徐家冲植物群 (Wang *et al.*, 2002)、中泥盆世晚期的西冲植物群 (Wang *et al.*, 2007) 和晚泥盆世晚期的五通植物群 (王恽等, 2006) 等。这些植物群都基于华南的化石材料, 而北方区泥盆纪植物研究相对较少 (Cai and Wang, 1995)。近年来, 新疆北部中泥盆世呼吉尔斯特组的植物化石研究取得了一定的进展, 对于泥盆纪植物的系统分类、多样性、演化生物学、古生态学以及相关的古植物地理均进行了研究与探讨 (见 Wang *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2012a; Jiang *et al.*, 2013)。呼吉尔斯特植物群主要基于产自新疆北部呼吉尔斯特组上段地层中的植物化石而得名, 是我国北方区中泥盆世晚期植物群的典型代表 (Xu and Wang, 2008a)。本文依据近十多年来新疆北部呼吉尔斯特组若干地层剖面中植物大化石、微体化石、沉

积学以及煤岩学等方面的综合研究和分析, 对呼吉尔斯特植物群的研究情况进行了系统性的梳理和总结, 对呼吉尔斯特组上段, 尤其是产有丰富植物大化石层段的沉积环境进行了探讨。

## 2 产地、地层与时代

呼吉尔斯特组主要分布于新疆北部准噶尔盆地西缘的和布克赛尔地区, 命名剖面位于和布克赛尔县的芒克鲁, 下段以凝灰质灰绿、黄绿色砾岩、砂岩为主, 夹有薄层凝灰质粉砂岩和透镜状薄层灰岩, 产有少量植物化石; 上段以凝灰质灰绿色砾岩、砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩为主, 并夹有数层厚度为 20—50 cm 的煤层, 产有大量植物化石。包括呼吉尔斯特组命名剖面在内, 目前尚未发现上、下两段彼此连续的呼吉尔斯特组地层剖面。呼吉尔斯特组上段地层的重要识别特征就是其若干层煤层以及丰富的植物大化石 (肖世禄等, 1992; Xu and Wang, 2008a)。

呼吉尔斯特组地层自建立以来, 其地质时代就被笼统定为中泥盆世, 被认为可能代表中泥盆世晚期的一套地层 (侯鸿飞等, 1979; 窦亚伟, 1983; 肖世禄等, 1992), 其时代证据来自于不同学者根据采自不同地层剖面的不同门类化石 (卢礼昌, 1997; 蔡重

收稿日期: 2014-12-23

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金 (No. 41272001) 资助。

阳,2000;王恽等,2004)。然而,新疆北部塔城地区地质构造复杂,断层发育频繁,对不同地层剖面地质时代的研究往往相对孤立,难于进行整合和综合对比,对于近年来大量报道的植物大化石的地质时代,亦缺乏直接的指示意义。为此,笔者等人对呼吉尔斯特组若干条产有丰富植物大化石的地层剖面进行了微体化石以及煤岩学等方面的综合研究,利用孢子组合等证据解释了呼吉尔斯特组各个典型植物的地质时代(Xu *et al.*, 2012a, 2014)。结论如下:和布克赛尔地区方圆 70 km 范围内的 4 条产有植物大化石的呼吉尔斯特组地层剖面地质时代为中泥盆世一晚泥盆世最早期,其中呼吉尔斯特组标准剖面的时代最老,为中泥盆世早期;干那仁地区地层剖面时代最新,为中泥盆世最晚期一晚泥盆世最早期;靠近 G217 国道的地层剖面时代为中泥盆世晚期,产有大量前裸子植物化石(Jiang *et al.*, 2013);而产有丰富多门类植物化石的 251 山剖面地质时代跨越中泥盆世的早晚期,主要的植物化石层段位于靠近煤层的中泥盆世晚期地层中(Xu *et al.*, 2012a, 2014)。

### 3 呼吉尔斯特植物群的组成与特征

呼吉尔斯特植物群中的植物大化石主要包括:石松类: *Haskinsia hastata* (Xu *et al.*, 2008), *H. sagittata* (Xu *et al.*, 2008), *Leclercqia* cf. *complexa* (Xu and Wang, 2008b), *L. uncinata* (Xu *et al.*, 2011b), *Colpodexylon gracilentum* (Xu and Wang, 2011), *Hoxtolgaya robusta* (Xu *et al.*, 2012b) 和 *Drepanophycus minor* (Xu *et al.*, 2013); 工蕨类: *Serrulacaulis spineus* (Xu *et al.*, 2011a) 和 *Serrulacaulis* cf. *furcatus* (Xu, 2011; Xu *et al.*, 2011a); 早期真蕨类: *Compsocradus givetianus* (Wang, 2008; Fu *et al.*, 2011); 前裸子植物: *Aneurophyton doui* (Jiang *et al.*, 2013), *Tetraxylopteris* sp. (Jiang *et al.*, 2013); 和分类位置待定的植物: *Tsaia conica* (Wang *et al.*, 2004), *Taeniocrada* 和 *Blasaria* (窦亚伟, 1983; Cai and Wang, 1995) 等(插图 1)。呼吉尔斯特植物群目前所发现的微体植物化石主要有大孢子 *Verrucisporites lui* (Xu *et al.*, 2012a) 和以 *Cymbosporites magnificus* 为主的小孢子(Xu *et al.*, 2014)。

从植物大化石的组成来看,呼吉尔斯特植物群包括石松类、工蕨类、前裸子植物类以及早期真蕨类。该植物群目前研究最多的植物类群是石松类,

被认为是以石松类植物占据主体,与其他同期植物群具有一定的差异。

华南中泥盆世晚期植物群,即西冲植物群(Wang *et al.*, 2007),代表了中泥盆世晚期非常特化的植物组合,与同期不同区域的植物群难有可以深入对比之处(Schweitzer and Cai, 1987; Wang and Berry, 2001b; Wang *et al.*, 2007),其植物组合中充满地方性特有分子,缺乏广布型植物。西冲植物群唯一与呼吉尔斯特植物群共有的大植物仅为分类位置难以确定的 *Tsaia* (Wang and Berry, 2001a; Wang *et al.*, 2004)。

其他同时期植物化石研究主要来自美国纽约州(Grierson and Banks, 1963, 1983; Gensel and Andrews, 1984; Bonamo *et al.*, 1988; Stein *et al.*, 2007), 西欧(Leclercq and Banks, 1962; Leclercq and Bonamo, 1971; Fairon-Demaret, 1981; Fairon-Demaret and Li, 1993; Berry and Fairon-Demaret, 1997) 以及南美洲委内瑞拉(Berry *et al.*, 1993; Berry and Edwards, 1994, 1995, 1996a, 1996b, 1997)。呼吉尔斯特植物群与这些同期植物组合相比,主要特点在于:1) 它们都具有一些广布型植物(如 *Leclercqia*, *Haskinsia*, *Aneurophyton* 等),而呼吉尔斯特植物群中的广布型植物在种级层面上具有独特之处,即,呼吉尔斯特植物群具有一些广布型植物的特有种,如草本石松植物 *Haskinsia hastata* ssp. *denticulata* (Xu *et al.*, 2008)、可能具有攀援习性的草本石松 *Leclercqia uncinata* (Xu *et al.*, 2011b) 以及前裸子植物 *Aneurophyton doui* (Jiang *et al.*, 2013) 等;2) 呼吉尔斯特植物群缺乏欧美同期植物群中常见的 *Pseudosporochneales* 目植物。*Pseudosporochneales* 目植物是构成北美洲中泥盆世森林的重要植物类群(Stein *et al.*, 2007, 2012),在欧美中泥盆世地层中较常见(Leclercq and Banks, 1962; Berry and Fairon-Demaret, 1997);3) 呼吉尔斯特植物群植物种类丰富,形成了薄层的煤层,可能也构成了一定规模的森林,但是构成该森林乔木层的植物为区域性分布石松类 *Hoxtolgaya robusta* (Xu *et al.*, 2012b)。根据呼吉尔斯特组中植物压型化石茎干保存的最大宽度(参见 Mosbrugger, 1990),我们推测其最大的石松植物最大生长高度可达 5 m 左右。

### 4 古环境分析与探讨

传统观点一直认为中国缺乏陆相泥盆系沉积



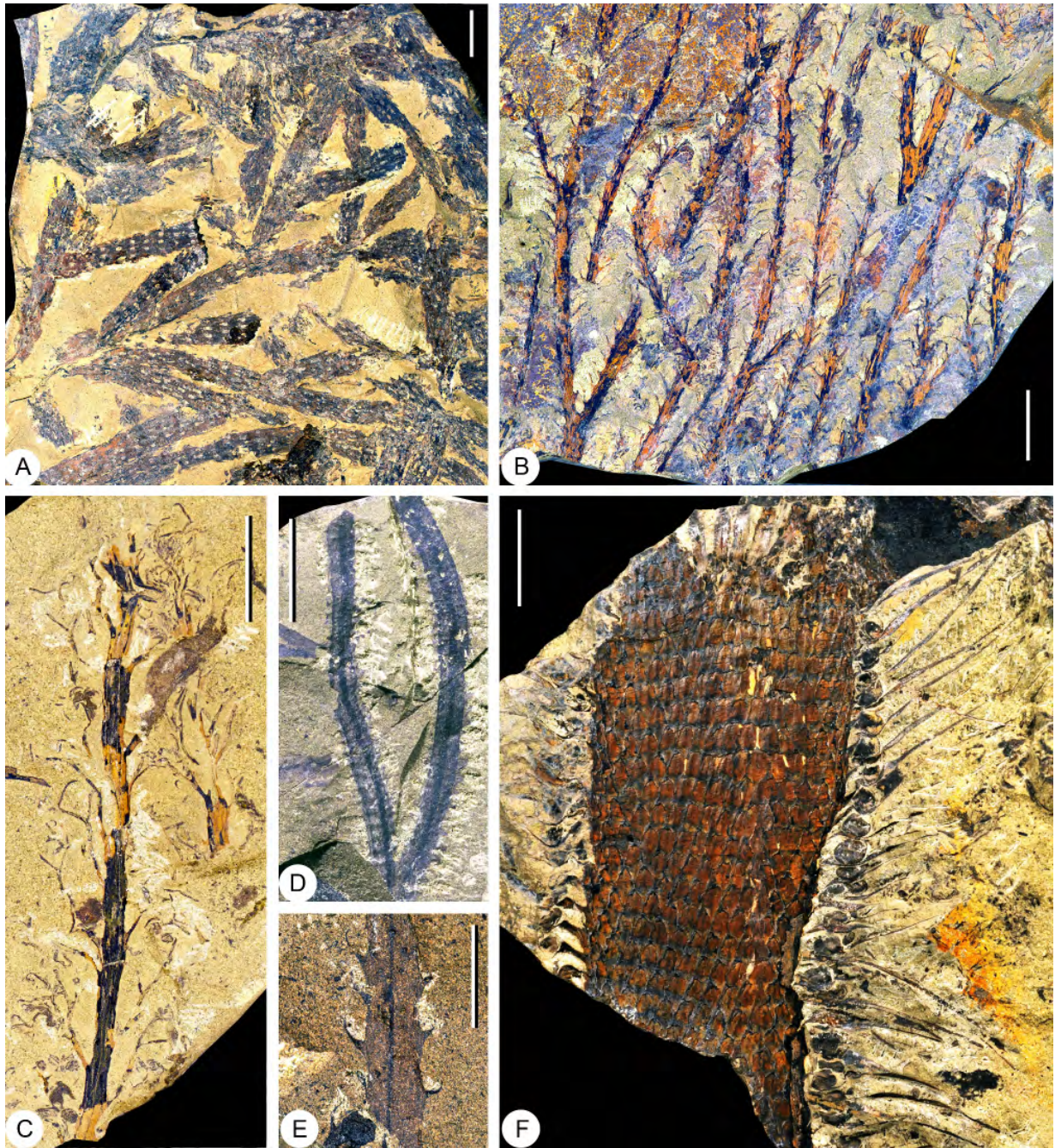


插图 1 呼吉尔斯特植物群中的常见分子

Several common members of the Hujiersite flora

化石均产自新疆准噶尔和布克赛尔地区呼吉尔斯特组上段地层。所有标本均保存在中国科学院南京地质古生物研究所。比例尺均为 10 mm。A. 广布型原始鳞木类草本石松 *Haskinsia sagittata*, PB21940; B. 可能具攀援习性的原始鳞木类石松 *Leclercqia uncinata*, PB21941, 其反面标本参见 Xu 等(2011b), Fig. 1e; C. 末端具多级纤细二歧分叉枝系的早期真蕨类 *Compsoctadus givetianus*, PB21942; D. 茎轴具两侧突起, 中央具维管束痕的工蕨 *Serrulacaulis spineus*, 注意其茎表面的台阶状突起, PB21943; E. 茎轴具侧生孢子囊的石松类 *Drepanophycus minor*, PB21944; F. 呼吉尔斯特植物群特有植物, 乔木状石松类 *Hoxtolegaya robusta*, PB21945, 其反面标本参见 Xu 等(2012b), Fig. 2D。

All fossils were collected from the Upper Member of the Hujiersite Formation, Hoxtolegay Area, West Junggar, Xinjiang. All specimens are housed at Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, CAS. Scale bar = 10 mm. A. The stem mass of the wide-dispersed protolepidodendroid *Haskinsia sagittata*, PB21940; B. A probable climber protolepidodendroid *Leclercqia uncinata*, PB21941, the counterpart specimens of which was illustrated in Fig. 1e in Xu *et al.* (2011b); C. The fern-like plants *Compsoctadus givetianus*. Note the multi-bifurcated, tiny distal branches, PB21942; D. Zosterophyll *Serrulacaulis spineus*, with bilateral emergences and central vascular ribbon on the stem, PB21943; E. Lycopside *Drepanophycus minor*, with sickle leaves, PB21944; F. The endemic plant of the Hujiersite flora, tree-like lycopsid *Hoxtolegaya robusta*, PB21945, the counterpart specimens of which was illustrated in Fig. 2D in Xu *et al.* (2012b).



(王钰等,1979;俞昌民,2013,个人通讯),一些产有丰富植物化石的地层岩组往往被认为是滨海相或非海相沉积(蔡重阳,2000)。呼吉尔斯特组命名剖面下段薄层灰岩中产有牙形刺,但是牙形刺保存得并不好,目前只能鉴定为 *Polygnathus* sp.,这可能是由于呼吉尔斯特组下段代表了非常接近陆源的、滨海的高能环境沉积(王成源,2012,个人通讯)。笔者在此对古环境的探讨主要针对呼吉尔斯特组上段地层,即,含有薄层煤层和丰富植物化石的层段,尤其是产有丰富植物化石的251山剖面和与其极为相似的G217国道剖面。

#### 4.1 沉积特征分析

251山剖面由于含有大量保存精美的植物化石以及若干层煤层,在岩性上被归为呼吉尔斯特组上段。251山剖面可以识别出至少两套岩性由粗变细的沉积序列(插图2A中的线1和线2),每套沉积序列由下至上均由砾岩-砂岩-粉砂岩-泥岩(或泥质粉砂岩)构成,粉砂岩或泥岩层中夹有薄层煤层(插图2A,G)。

砾岩层厚度变化较大,20 cm—1.5 m 不等,横向上不稳定,可能呈透镜状分布,其中的砾石磨圆度高,粒径1—10 cm 不等(插图2E,F)。砾岩中有砂岩透镜体(插图2E,F)。砂岩主要是黄绿色凝灰质石英砂岩,层厚在横向上不稳定,以透镜状分布。粉砂岩和泥岩沉积在呼吉尔斯特组上段分布稳定,具有水平层理,总厚度约20 m。

251山剖面中砾岩-砂岩-粉砂岩沉积序列中,多有透镜状分布的岩层,砂岩多具有水平层理,这可能属于河漫滩沉积物(Selley,1996;Galloway and Hobday,1996),而其中的砾岩和砂岩层指示了较高能量的河流相沉积,可能属于河道沉积物。

#### 4.2 植物化石埋藏分析

植物化石可见于砂岩和粉砂岩层中,岩性细的粉砂岩中保存的化石最为精美,细节也最丰富(插图2A—D)。

砂岩中保存有大量的植物茎干化石,这些植物化石大小、类型均不同,相对较破碎。这些植物可能经历了一定的搬运,不同的植物化石共同保存一起。由于沉积环境的动力作用强,植物体中的细小部分均被打碎,保存为碳片,仅茎干得以部分保存。粉砂岩层中所保存的植物化石往往属种相对单一(如插图1A,插图2B,C),不同植物的产出层往往仅仅相

距2—10 cm 不等(插图2C,D),化石保存层彼此距离很近。有的植物化石排列杂乱无序,在一些大量压型化石表面,有些植物茎干的排列规则而有序(插图1A,B;插图2B,D),保存的植物化石清晰而完整,植物体的不同部位共同产出,各部位之间保持有机连接。毫米级别的纤细结构也得到非常清晰的保存,比如 *Leclercqia uncinata* (Xu et al.,2011b)可能具有攀援习性的叶末端钩状结构(插图1B), *Compsocradus givetianus* (Fu et al.,2011)的多次二歧分叉末端和孢子囊(插图1C)。保存植物的粉砂岩中还可以识别出大孢子(Xu et al.,2012a),特有的石松植物 *Hoxtolegaya* 在大量的叶腋处着生孢子囊(插图1F),这些孢子囊中保存有原位孢子(Xu et al.,2012b),石松类 *Drepanophycus* 茎轴(插图1E)上还连接着气生根(Xu et al.,2013)等等。植物化石的保存特征表明,它们并未经过长距离搬运作用,植物的埋藏地点距其生长地点可能非常近,甚至可能就在其生长地被埋藏。呼吉尔斯特植物群中石松类植物数量庞大,这些植物均为喜湿润型植物。因此,这个植物群的生长环境可能为河道附近的区域性小陆块或河漫滩附近,不同小陆块的不同植被类型受周期性洪水或规律性流水作用而保存为化石。

#### 4.3 煤岩学以及古地理学分析

呼吉尔斯特组上段地层的一个重要特征,就是它具有若干层煤层(插图2G)。从251山剖面可以识别出两套20—50 cm 不等的煤层。这些煤虽没有工业生产价值,在横向上也不十分稳定,但是,它们对于识别呼吉尔斯特组上段地层的古环境具有一定指示作用。成煤不仅要求湿润的气候条件,还要求来自植物的碳质经持续积累而保存成为泥炭,且泥炭的沉积速率高于碎屑的沉积速率,否则地层中所保存的就是碳质页岩,而不是煤(McCabe,1987)。

在古地理上,新疆北部和布克赛尔地区中泥盆世位于赤道以北的热带地区,是一系列远离陆地的Mariana型火山岛弧(Xiao et al.,2010)。Mariana型岛弧环境成煤作用非常罕见,目前研究记录仅有两处:太平洋西部的Belau岛(Miller et al.,1989)和南澳大利亚的Rapa岛(Chubb,1927)。Belau岛的地层以薄层砾岩、粉砂岩和页岩所构成的若干套沉积序列所组成,其煤层保存在该沉积序列所间夹的高岭土层中。Rapa岛的煤层位于火山熔岩流所间夹的粘土岩层中。这些煤层都是由其所



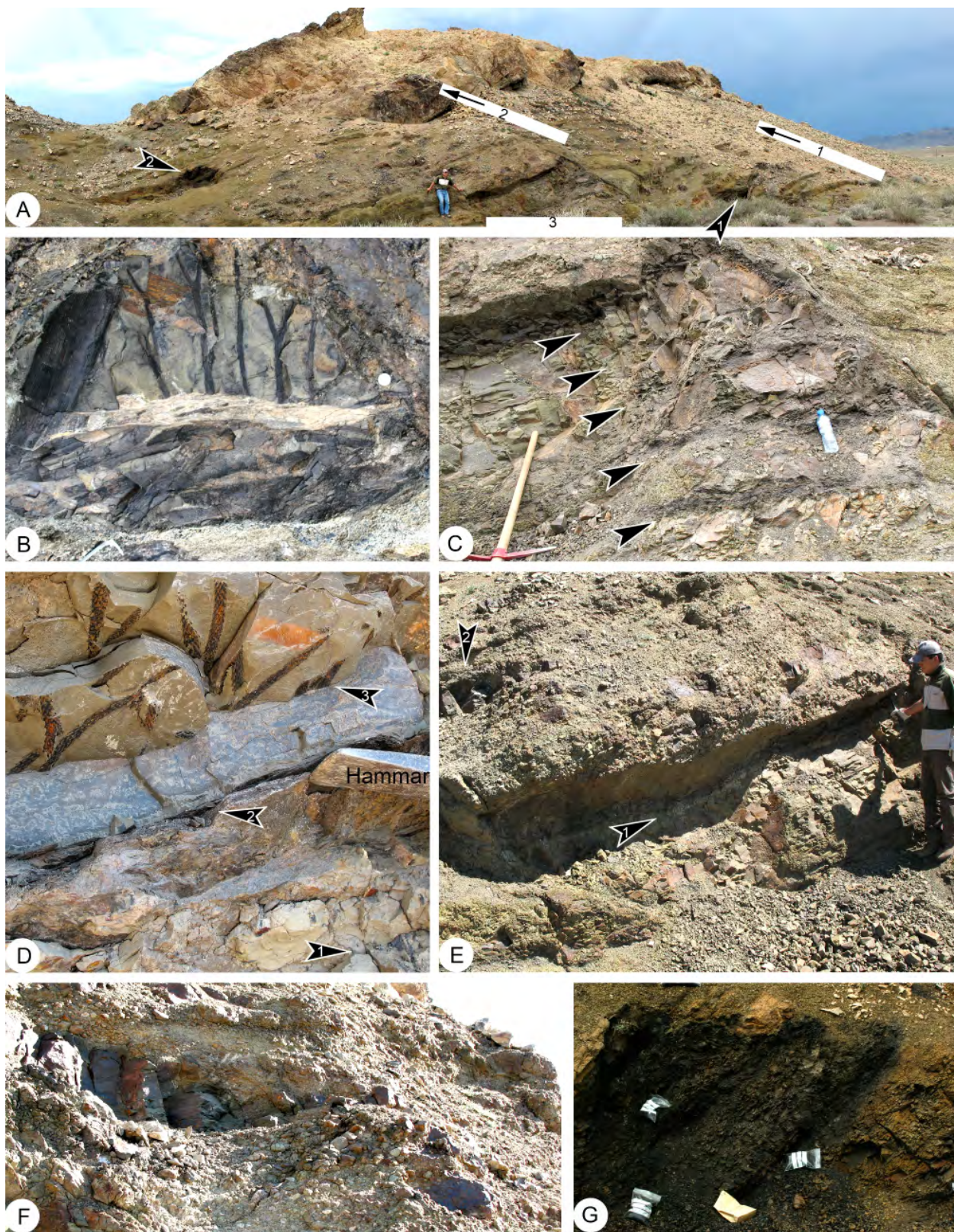


插图 2 呼吉尔斯特植物群化石主要产出剖面:251 山野外照片

The 251 Hill section of the Upper Member of the Hujiersite Formation, Hoxtolgay, West Junggar, Xinjiang, China

A. 251 山由下至上可以识别出多套由粗渐细的沉积序列(如其中的 1 和 2),每套序列中的砂岩和粉砂岩层(或透镜体)中均产有多门类的植物化石;B. 产有乔木状石松 *Hoxtolegaya* 化石的黄绿色粉砂岩透镜体,来自图(A)中箭头 1 所示处局部放大,图中右侧中部比例尺为 1 元钱硬币(直径 25 mm);C. 沉积序列 1 顶部产有大量植物化石的砂岩、粉砂岩层,为图(A)中线 3 区域的局部放大,各箭头所示层位均产有大量植物化石。该图中顶部砾岩为沉积序列 2 的起始;D. 图 C 中最顶部箭头所示区域的局部放大,示各个化石层,箭头 1 处层保存有与层面垂直的茎干石。



在区域的热带型植被所演变而来,其环境相对缺乏沉积岩积累,与呼吉尔斯特组上段地层中的成煤环境非常相似。呼吉尔斯特组所在的西准噶尔地区,在古生代时期地质构造运动频繁,某些区域中的相对上升运动不利于沉积物源的大量积累,由此便形成了若干套薄层煤层,251 山剖面中煤层可能就是这样形成的。

251 山剖面中的煤中的孢子主要以 *Cymbosporites magnificus* (Xu *et al.*, 2012a, 2014) 为主,该孢子的母体植物为石松类植物 (Balme, 1995),这表明这些煤主要由石松类植物形成。该煤以镜质体占主体,偶有黄铁矿微粒,成熟度低,推测其埋藏的最高温度为  $140^{\circ}$ , 煤的灰炆量高达 40%—80%, 仅有少许样品灰炆量达到 16% (Xu *et al.*, 2012a), 后者灰炆量见于俄罗斯泥盆纪陆相沼泽环境中的植物角质层煤 (Volkova, 1994)。251 山剖面的煤尽管具有丰富的泥炭来源,但是其杂质多,分布分散,仅少数层的煤具有极高的碳质,其形成环境可能是火山岛弧上的区域性河流或河漫滩。另外,对呼吉尔斯特组的植物化石进行的有机碳同位素地球化学分析表明,呼吉尔斯特植物群中植物的有机碳  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $-26\text{‰}$ — $-19\text{‰}$ , 煤层中的有机碳值略高 (冯净等, 2014)。浸解的有机碳残余物块体大、色黑,块体不均匀,具有明显的断裂边缘,这与典型的海相沉积物分析结果明显不同。

## 5 古植物地理学意义

随着对泥盆纪植物系统学研究的深入开展,对泥盆纪植物的古植物地理学分析与研究近年来也取

得了一定进展。尽管在泥盆纪时期,很多植物都具有非常广泛的分布,甚至有学者认为泥盆纪时期并不存在典型植物地理分区 (比如 Mayen, 1987),但是根据植物群的组成特征,泥盆纪若干个大型的植物分区仍然可以识别出来,这些主要的植物地理大区有:南美洲、北美洲、西欧、西伯利亚、新疆、华南、南极洲、北非等等 (Raymond and Metz, 1995)。对于泥盆纪植物的古植物地理学分析与探讨,主要有以下看法:1) 草本石松类,尤其是原始鳞木目 (Protolepidodendrales) 下的一些石松类植物,往往具有非常广泛的全球分布,如中泥盆世的 *Haskinsia* 分布于除华南和西欧以外的所有古陆 (Cingolani *et al.*, 2002; Xu and Berry, 2008), *Leclercqia* 分布于除华南以外的所有古陆 (Meyer-Berthud *et al.*, 2003; Xu and Wang, 2008b); 2) 前裸子植物可能在中泥盆世早期起源于冈瓦纳古陆的西北缘 (Gerrienne *et al.*, 2010), 至晚泥盆世时,逐步扩散到了当时的各大主要陆块 (Jiang *et al.*, 2013); 3) 以 *Verrucisporites* 为代表的大孢子在中—晚泥盆世具有广阔的分布范围,主要围绕着古地中海的东北缘分布 (Steemans *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2012)。

新疆北部和布克赛尔地区在中泥盆世位于赤道以北的热带地区,该块体逐渐向西北方向俯冲潜没,最终与哈萨克斯坦板块相融合 (Zhou and Dean, 1996)。该地区在古地理方面,是一系列远离陆地的 Mariana 型火山岛弧 (Xiao *et al.*, 2010), 与陆地块体无任何关联 (龚一鸣、刘本培, 1993)。而上文中提及的泥盆纪重要的植物类群,包括草本石松类、前裸子植物类以及归属不明的,具有大孢子 *Verrucisporites* 的植物均在新疆的西准噶尔以及所临近的

状碳片,可能为根系;箭头 2 处层为黑色密集的植物化石层,难以识别具体属种;箭头 3 处粉砂岩层中保存有草本石松 *Haskinsia sagittata*。图中右侧中部比例尺为地质锤头部;E. 两套沉积序列 (图 A 中的序列 1 和 2) 的交替,箭头 1 以下为序列 1, 以上砾岩起始为序列 2; F. 图 E 中箭头 2 所示区域的局部放大,示沉积序列 2 底部砾岩层中砂岩透镜体,其中产有 *Colpodexylon* 等植物化石; G. 图 A 中箭头 2 所示区域局部放大,示岩石序列 2 中黄绿色粉砂岩中的煤层,图中塑料样品袋长度约 15 cm。

A. Panorama of 251 Hill, at least two depositional sequences (bars 1 and 2) each of which consists of finer and finer sediments in ascending order. Sandstone and siltstone layers yield abundant plant fossils; B. The yellow-green siltstone bed yielding tree-like lycopsids, such as *Hoxtolgaya*. This is close-up of the area indicated by arrow 1 in fig A. The coin in the right area is 25 mm in diameter; C. The upper part of the depositional sequence 1, close-up of the area indicated by bar 1 in fig A. Arrows indicate different plant fossil bearing beds. The conglomerate in the top shows the start of the depositional sequence 2; D. Close-up of the area indicated by the uppermost arrow in fig C, showing details of fossil bearing beds. Arrow 1 bed has carbonaceous stems that are vertical to the strata and probably represent roots of plants growing in their original place. Arrow 2 bed has dense plant fossils that are difficult to recognize. Arrow 3 bed is siltstone yielding herbaceous lycopsid *Haskinsia sagittata*. The middle right is a geologic hammer head; E. Boundary area of the two depositional sequences 1 (below the arrow 1) and 2 (upper the arrow 2 and starts with conglomerate); F. Close-up of the area indicated by the arrow 2 in fig E, showing the sandstone lens in the conglomerate layer. *Colpodexylon* fossils are found in the sandstone; G. Close-up of the area indicated by arrow 2 in fig A, showing the coal layer in siltstone beds. The plastic bag is about 15 cm long.

陆块有所发现,因此,新疆西准噶尔泥盆纪岛弧是这些植物在古地中海北部进行迁徙的必经之路,是连

接冈瓦纳东北部与欧洲和西伯利亚之间陆生植物迁徙的重要纽带和大陆桥(插图 3)。

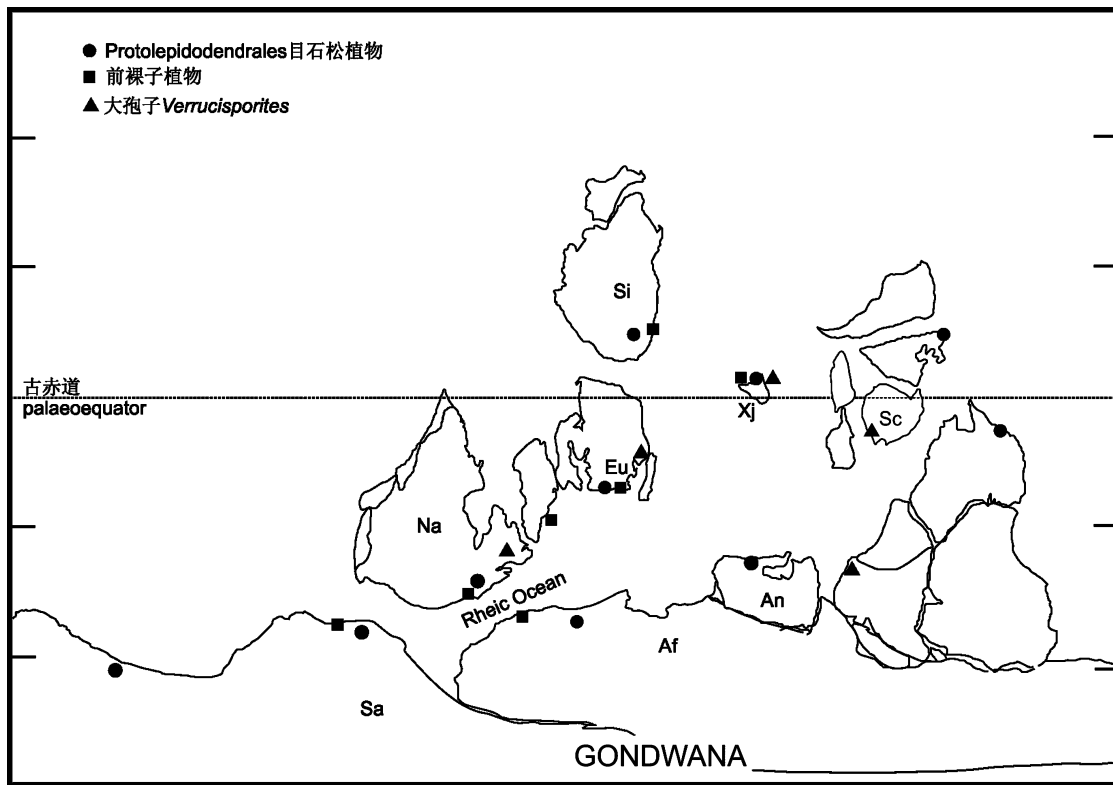


插图 3 中泥盆世草本石松类(圆形)、前裸子植物类(方块)以及归属不明的,具有大孢子 *Verrucisporites* 的植物(三角形)在中泥盆世时期的全球古地理分布

Palaeogeographical occurrences of herbaceous lycopsids (disks), progymnosperms (solid squares) and plants with megaspore *Verrucisporites* (triangles) in the Mid Devonian

注意新疆西准噶尔是这些植物在全球范围内迁徙的重要途径。各大主要古陆块体分别为南美洲(Sa)、北美洲(Na)、西欧(Eu)、西伯利亚(Si)、新疆(Xj)、华南(Sc)、南极洲(An)、非洲(Af)。

The Devonian West Junggar acts as key land bridges for the global migrations of a number of taxa. Palaeoblocks include South America (Sa), North America (Na), West Europe (Eu), Siberia (Si), Xinjiang (Xj), South China (Sc), Antarctica (An) and Africa (Af).

## 6 结 论

1) 呼吉尔斯特植物群是我国北方区中泥盆世晚期植物群的代表,主要由石松类、工蕨类、早期真蕨类和前裸子植物所组成,缺乏欧美同期植物群中常见的 *Pseudosporochnales* 目植物;2) 呼吉尔斯特植物群具有泥盆纪时期的广布型属,也具有这些广布型属种的特化型或地方型种,形成了小规模森林,森林的冠层植物为地方性的乔木状石松类,而非欧美同期植物群中的早期真蕨类;3) 呼吉尔斯特植物群生长环境为大洋中相对孤立的火山岛弧,其沉积环境为区域性河流或小型河漫滩;4) 新疆西准噶尔地区是泥盆纪植物在冈瓦纳东北部与欧洲和西伯利亚之间迁徙的重要途径和大陆桥。

致谢 中国科学院南京地质古生物研究所的蔡重阳研究员,王成源研究员,俞昌民研究员和陈秀琴研究员在本文撰写过程中提供了指导性意见与建议;窦亚伟先生和唐鹏博士在新疆野外工作中给予了指导与帮助,在此一并致谢。

## 参 考 文 献 (References)

- Balme B E, 1995. Fossil in situ spores and pollen grains: an annotated catalogue. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **87**: 81—323.
- Berry C M, Casas J E, Moody J M, 1993. Diverse Devonian plant assemblages from Venezuela. *Documents des Laboratoires de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon*, **125**: 29—42.
- Berry C M, Edwards D, 1994. New data on the morphology and anatomy of the Devonian zosterophyll *Serrulacaulis* Hueber and Banks from Venezuela. *Review of Palaeobotany and Palynology*.

- gy, **81**:141—150.
- Berry C M, Edwards D, 1995. New species of the Devonian lycophte *Colpodoxylon* from the Devonian of Venezuela. *Palaeontographica*, **137B**:59—74.
- Berry C M, Edwards D, 1996a. The herbaceous lycophte genus *Haskinsia* Grierson and Banks from the Devonian of western Venezuela, with observations on the leaf morphology and fertile specimens. *Botanical Journal of Linnean Society*, **122**: 103—122.
- Berry C M, Edwards D, 1996b. *Anapaulia moodyi* gen et sp nov, a probable iridopteridalean compression fossil from the Devonian of Venezuela. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **93**: 127—145.
- Berry C M, Edwards D, 1997. A new species of the lycopsid *Gilboaphyton* Arnold from the Devonian of Venezuela and New York State with a revision of the closely related genus *Archaeosigillaria* Kidston. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **96**:47—70.
- Berry C M, Fairon-Demaret M, 1997. A reinvestigation of the cladoxylopid *Pseudosporochnus nodosus* Leclercq et Banks from the Middle Devonian of Goé, Belgium. *International Journal of Plant Sciences*, **158**:350—372.
- Bonamo P M, Banks H P, Grierson J D, 1988. *Leclercqia*, *Haskinsia*, and the role of leaves in delineation of Devonian lycopod genera. *Botanical Gazette*, **149**:222—239.
- Cai Chong-yang(蔡重阳), 2000. Non-marine Devonian of China. In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica(中国科学院南京地质古生物研究所)(ed.), *Stratigraphical Studies in China (1979-1999)*. Hefei: Science and Technology University Press. 95—128(in Chinese).
- Cai C Y, Wang Y, 1995. Devonian floras. In: Li X X(ed.), *Fossil Floras of China through the Geological Ages*. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press. 28—77.
- Chubb L J, 1927. The geology of the Austral or Tubuai Islands (southern Pacific). *Quarterly Journal of Geological Society of London*, **83**:291—316.
- Cingolani C A, Berry C M, Morel E, Tomezzoli R, 2002. Middle Devonian lycopsids from high southern palaeolatitudes of Gondwana(Argentina). *Geological Magazine*, **139**:641—649.
- Dou Ya-wei(窦亚伟), 1983. Palaeobotany. In: Geological Surveying Team and Institute of Geoscience, Xinjiang Bureau of Geology (新疆地质局区域地质调查大队和地质研究所), Geological Surveying Department, Xinjiang Bureau of Petroleum (新疆石油局地质调查处)(eds.), *Palaeontological Illustrations of Northwest China, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Vol. 2*. Beijing: Geological Publishing House. 561—614(in Chinese).
- Fairon-Demaret M, 1981. Le genre *Leclercqia* Banks, H. P., Bonamo, P. M. et Grierson, J. D. 1972 dans le Devonien Moyen de Belgique. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique*, **31-XII**:1—10.
- Fairon-Demaret M, Li C S, 1993. *Lorophyton goense* gen. et sp. nov. from the Lower Givetian of Belgium and a discussion of the Middle Devonian Cladoxylopsida. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **77**:1—22.
- Feng Jing(冯净), Xu Hong-he(徐洪河), Jiang Qing(蒋青), 2014. Study on the stable carbon isotope of the Mid-Late Devonian plants from North Xinjiang. *Botanical Research(植物学研究)*, **3**:227—237(in Chinese with English abstract).
- Fu Q, Wang Y, Berry C M, Xu H H, 2011. Complex branching patterns in a newly recognized species of *Compsocradus* Berry et Stein (Iridopteridales) from the Middle Devonian of North Xinjiang, China. *International Journal of Plant Sciences*, **172**: 707—724.
- Galloway W E, Hobday D K, 1996, *Terrigenous Clastic Depositional Systems*. Berlin: Springer-Verlag. 1—489.
- Gensel P G, Andrews H N, 1984. *Plant Life in the Devonian*. New York: Praeger. 1—396.
- Gerrienne P, Meyer-Berthaud B, Lardeux H, Regnault S, 2010. First record of *Rellimia* Leclercq & Bonamo (Aneurophytales) from Gondwana, with comments on the earliest lignophytes. *Geological Society of London Special Publication*, **339**:81—92.
- Gong Yi-ming(龚一鸣), Liu Ben-pei(刘本培), 1993. Plate-tectonic Sedimentology of the Devonian Volcanic Sedimentary Successions in Northern Xinjiang, Northwestern China. Wuhan: China University of Geoscience Press. 1—138(in Chinese).
- Grierson J D, Banks H P, 1963. Lycopods of the Devonian of New York State. *Palaeontographica Americana*, **4**:217—295.
- Grierson J D, Banks H P, 1983. A new genus of lycopods from the Devonian of New York State. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **86**:81—101.
- Hao S G, Xue J Z, 2013. The Early Devonian Posongchong Flora of Yunnan — A Contribution to an Understanding of the Evolution and Early Diversification of Vascular Plants. Beijing: Science Press. 1—366.
- Hou Hong-fei(侯鸿飞), Xiang Li-wen(项礼文), Lai Cai-gen(赖才根), Lin Bao-yu(林宝玉), 1979. New progress on the study of Paleozoic strata from the Tianshan-Xing'an Area. *Journal of Stratigraphy(地层学杂志)*, **3**:175—187 (in Chinese).
- Jiang Q, Wang Y, Xu H H, Feng J, 2013. A new species of *Aneurophyton* (Progymnospermopsida) from the Middle Devonian of West Junggar, Xinjiang, China, and its paleophytogeographical significance. *International Journal of Plant Sciences*, **174**: 1182—1200.
- Leclercq S, Banks H P, 1962. *Pseudosporochnus nodosus* sp. nov., a Middle Devonian plant with Cladoxylalean affinities. *Palaeontographica*, **110B**:1—34.
- Leclercq S, Bonamo P M, 1971. A study of the fructification of *Milleria* (*Protopteridium*) *thomsonii* Lang from the Middle Devonian of Belgium. *Palaeontographica*, **136B**:83—114.
- Lu Li-chang(卢礼昌), 1997. Miospores from the Hujiersite Formation at Aherbruckomha in Hoboksar, Xinjiang. *Acta Micropalaeontologica Sinica(微体古生物学报)*, **14**:295—314(in Chinese with English abstract).
- Mayen S V, 1987. *Fundamentals of Palaeobotany*. London and New



- York: Columbia University Press. 1—303.
- Meyer-Berthaud B, Fairon-Demaret M, Steemans P, Talent J, Gerrienne P, 2003. The plant *Leclercqia* (Lycopsida) in Gondwana: implications for reconstructing Middle Devonian palaeogeography. *Geological Magazine*, **140**: 119—130.
- Miller W R, Rytuba J J, Arnold M A, Vercoetere T L, 1989. Investigation of the Rois Malk epithermal gold system, Republic of Palau. U. S. Geological Survey Bulletin, **1872**: 1—85.
- Mosbrugger V, 1990. The tree habit in land plants. In: Bhattacharji S, Friedman G M, Neugebauer H J, Seilacher A (eds.), *Lecture Notes in Earth Sciences*. Berlin: Springer-Verlag. 1—161.
- Raymond A, Metz C, 1995. Laurussian land-plant diversity during the Silurian and Devonian: mass extinction, sampling bias, or both? *Paleobiology*, **21**: 74—91.
- Schweitzer H J, Cai C Y, 1987. Beiträge zur Mittldevon-flora Südchinas. *Palaeontographica*, **207B**: 1—109.
- Selley R C, 1996. *Ancient Sedimentary Environments and Their Subsurface Diagnosis*. London: Chapman & Hall. 1—300.
- Steemans P, Breuer P, Petus E, Prestianni C, de Ville de Goyet F, Gerrienne P, 2011. Diverse assemblage of Middle Devonian megaspores from Libya. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **165**: 154—174.
- Stein W E, Berry C M, Hernick L V A, Mannolini F, 2012. Surprisingly complex community discovered in the mid-Devonian fossil forest at Gilboa. *Nature*, **483**: 78—81.
- Stein W E, Mannolini F, Hernick L V A, Landing E, Berry C M, 2007. Giant cladoxylpsid tree resolve the enigma of the Earth's earliest forest stumps at Gilboa. *Nature*, **446**: 904—907.
- Volkova I B, 1994. Nature and composition of the Devonian coals of Russia. *Energy and Fuels*, **8**: 1489—1493.
- Wang D M, 2008. A new iridopteridalean plant from the Middle Devonian of northwest China. *International Journal of Plant Sciences*, **169**: 1100—1115.
- Wang D M, Hao S G, Liu Z F, 2002. Researches on plants from the Lower Devonian Xujiachong Formation in the Qujiang district, eastern Yunnan. *Acta Geologica Sinica*, **76**: 393—407.
- Wang Y, Berry C M, 2001a. A new small plant from the Xichong Formation of Yunnan, and discussion on the floral assemblage of late Middle Devonian in South China. *Acta Palaeontologica Sinica*, **40**: 424—432.
- Wang Y, Berry C M, 2001b. A new plant from the Xichong Formation (Middle Devonian), South China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **116**: 73—85.
- Wang Y, Berry C M, Hao S G, Xu H H, Fu Q, 2007. The Xichong flora of Yunnan, China: diversity in late Mid Devonian plant assemblages. *Geological Journal*, **42**: 339—350.
- Wang Yi (王 恽), Hao Shou-gang (郝守刚), Fu Qiang (傅 强), Xu Hong-he (徐洪河), Wang De-ming (王德明), 2006. Diversity of early land vascular plants in the Silurian and Devonian. In: Rong Jia-yu (戎嘉余) (ed.), *Originations, Radiations and Biodiversity Changes—Evidences from the Chinese Fossil Record*. Beijing: Science Press. 383—398 (in Chinese with English summary).
- Wang Yi, Wang J, Xu H H, He X Z, 2010. The evolution of Paleozoic vascular land plant diversity of South China. *Science China Earth Sciences*, **53**: 1828—1835.
- Wang Yi (王 恽), Xu Hong-he (徐洪河), Fu Qiang (傅 强), Tang Peng (唐 鹏), 2004. A new diminutive plant from the Hujier-site Formation (late Middle Devonian) of North Xinjiang, China. *Acta Palaeontologica Sinica* (古生物学报), **43**: 461—471 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yu (王 钰), Yu Chang-min (俞昌民), Xu Han-kui (许汉奎), Liao Wei-hua (廖卫华), Cai Chong-yang (蔡重阳), 1979. Devonian biostratigraphy in South China. *Journal of Stratigraphy* (地层学杂志), **3**: 81—89 (in Chinese).
- Xiao Shi-lu (肖世禄), Hou Hong-fei (侯鸿飞), Wu Shao-zu (吴绍祖), 1992. The Researches of Devonian System in North Xinjiang. Urumqi: Xinjiang Science Technology and Hygiene Publishing House. 1—257 (in Chinese).
- Xiao W J, Huang B, Han C, Sun S, Li J, 2010. A review of the western part of the Altaids: A key to understanding the architecture of accretional orogenesis. *Gondwana Research*, **18**: 253—273.
- Xu H H, 2011. Re-examination of specimens attributed to *Sawdonia curstipa* Wang and Hao (zosterophyll) from the Middle Devonian of Xinjiang, China. *Palaeoworld*, **20**: 357—361.
- Xu H H, Berry C M, 2008. The Middle Devonian lycopsid *Haskinsia* from the Ruppert Coast, Marie Byrd Land, West Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **150**: 1—4.
- Xu H H, Berry C M, Wang Y, 2011a. Morphological study on the Devonian zosterophyll *Serrulacaulis* Hueber and Banks: new materials and emendation. *Palaeoworld*, **20**: 322—331.
- Xu H H, Berry C M, Wang Y, Marshall J E A, 2011b. A new species of *Leclercqia* Banks, Bonamo et Grierson (Lycopsida) from the Middle Devonian of North Xinjiang, China, with a possible climbing habit. *International Journal of Plant Sciences*, **172**: 836—846.
- Xu H H, Feng J, Jiang Q, Wang Y, 2013. Report of *Drepanophycus* Goppert (Lycopsida) from the Middle Devonian of Xinjiang, China. *Journal of Systematics and Evolution*, **51**: 765—772.
- Xu H H, Marshall J E A, Berry C M, Wang Y, Zhu H C, Wellman C H, 2012a. Mid Devonian megaspores from Yunnan and North Xinjiang, China: their palaeogeographical and palaeoenvironmental significances. *Palaeoworld*, **21**: 11—19.
- Xu H H, Marshall J E A, Wang Y, Zhu H C, Berry C M, Wellman C H, 2014. Devonian spores from an intra-oceanic volcanic arc, West Junggar (Xinjiang, China) and the palaeogeographical significance of the associated fossil plant beds. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **206**: 10—22.
- Xu H H, Wang Y, 2008a. A diverse Middle Devonian flora from North Xinjiang, China. *Terra Nostra* (IPC-XII / IOPC-VIII, abstract volume). Berlin: GeoUnion Alfred-Wegener-Stiftung. 311.
- Xu H H, Wang Y, 2008b. The palaeogeographical significance of specimens attributed to *Protolapidodendron scharyanum* Krejčí (Lycopsida) from the Middle Devonian of North Xinjiang, China. *Geological Magazine*, **145**: 295—299.
- Xu H H, Wang Y, 2011. A neotype for *Colpodexylon gracilentum* Dou (Lycopsida) from the Middle Devonian of North Xinjiang, China. *Journal of Systematics and Evolution*, **49**: 372—378.
- Xu H H, Wang Y, Berry C M, Cai C Y, 2008. Two species of

*Haskinsia* Grierson et Banks (Lycopsidea) from the Middle Devonian of Xinjiang, China, and their palaeogeographical considerations. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **157**:633—644.  
Xu H H, Wang Y, Wang Q, 2012b. A new homosporous, arborescent

lycopside from the Middle Devonian of Xinjiang, Northwest China. *Palaeontology*, **55**:957—966.  
Zhou Z Y, Dean W T, 1996. *Phanerozoic Geology of Northwest China*. Beijing: Science Press. 1—316.

## ON THE MID DEVONIAN HUJERSITE FLORA FROM WEST JUNGGAR, XINJIANG, CHINA, ITS CHARACTERISTICS, AGE, PALAEOENVIRONMENT AND PALAEOPHYTOGEOGRAPHICAL SIGNIFICANCES

XU Hong-he, JIANG Qing, ZHANG Xiao-le, WANG Yi, FU Qiang and FENG Jing

(State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology,  
Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China, hhxu@nigpas.ac.cn)

**Key words** Palaeobotany, palaeoenvironment, Hujersite Formation, Devonian, Xinjiang

### Summary

The Hujersite flora was proposed based on the plant assemblage from the Hujersite Formation, West Junggar, Xinjiang, China and was dated as the late Mid Devonian (Givetian) based on dispersed spores. Megaplants in the Hujersite flora include lycopsids: *Haskinsia hastata*, *H. sagittata*, *Leclercqia* cf. *complexa*, *L. uncinata*, *Colpodexylon gracilentum*, *Hoxtolgaya robusta* and *Drepanophycus minor*; zosterophylls: *Serrulacaulis spineus* and *Serrulacaulis* cf. *furcatus*; fern-like plants: *Compsocradus givetianus*; progymnosperms: *Aneurophyton doui* and *Tetrazylopteris* sp., and incertae sedis plants *Tsaia conica*, *Taeniocrada* and *Blasaria*. The palynological assemblage in the flora is dominated by a single spore type, *Cymbosporites* cf. *magnificus*, whose parent plants are probably lycopsids, and megaspore *Verrucisporites lui*.

The characteristics of the Hujersite flora can be summarized as, 1) Lycopsids are dominant and probably the main coal-forming plants in the Hujersite flora; 2) some small and/or herbaceous lycopsids are widespread but at the species level the widespread members are unique and endemic, such as *Haskinsia hastata* ssp. *denticulata*, a probable climber lycopsid *Leclercqia uncinata*, minor-sized lycopsid *Drepanophycus minor* and

progymnosperm *Aneurophyton doui*. 3) Plants of the Order Pseudosporochnales that are common members of the North America Mid Devonian forest are absent. 4) The largest plant in the Hujersite flora belongs to the tree-like lycopsid, *Hoxtolgaya robusta*, which probably reaches the maximum of 4 m in height based on the width of its stem and is shorter than canopy cladoxyloids (e. g., *Eospermatopteris* in the Mid Devonian forest of North America. Geochemical analysis to plant fossils from the 251 Hill section show that the  $\delta^{13}\text{C}$  value of the plant fossil matrix ranges from  $-26\text{‰}$  to  $-19\text{‰}$ , which is very close and 1‰ to 2‰ lower than that of plant fossil in the same specimen (Feng et al., 2014).

At least three depositional upward-fining sequences can be recognized, consisting of conglomerate, sandstone, siltstone and mudstone in ascending order, and the thin layers of coal occur in bed of siltstone or mudstone. The depositional sequences suggest an alluvial sedimentary facies. The occasional conglomerate layer and lenses of sandstone were deposited in a fluvial environment, probably in the alluvial flat or flood plain. It is suggested that West Junggar was an important land bridge in the global migration of the Devonian plants, including the herbaceous lycopsids, progymnosperms and plants with megaspore *Verrucisporites*.