



## 辽宁本溪中三叠统苏铁类植物华丽尼尔桑的发现

周晨馨<sup>1</sup>, 周岳<sup>1</sup>, 张宜<sup>1,2</sup>, 郑少林<sup>3</sup>, 王榕<sup>1</sup>, 谭丰婷<sup>1</sup>

1. 沈阳师范大学古生物学院, 辽宁沈阳 110034; 2. 自然资源部东北亚古生物演化重点实验室, 辽宁沈阳 110034; 3. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁沈阳 110034

**摘要:** 尼尔桑属(*Nilssonia* Brongniart 1825)是苏铁植物门(Cycadophyta)代表分子之一, 地质历史时期在中国和世界均有着相当广泛的分布。自 1993 年孙革报道华丽尼尔桑(*Nilssonia splendens* Sun 1993)以来, 该种仅见于东亚地区上三叠统。最近, 在中国东北辽宁本溪中三叠统林家组中, 发现了一对正负面华丽尼尔桑标本, 是该种在中三叠统的首次发现。该种的主要特征是羽叶的叶轴较细; 裂片的叶脉细而清晰, 略密, 近平行, 基本不分叉, 至顶端微上弯, 每厘米具脉约 28 条。本研究根据现有标本及中国吉林天桥岭模式标本所显示的裂片和羽轴上下过渡关系, 对华丽尼尔桑的羽叶进行了重建, 并在此基础上探讨华丽尼尔桑的古地理起源与扩散。该种在辽宁本溪林家组的发现不仅扩展了华丽尼尔桑的地质历史分布, 丰富了林家植物群面貌, 也有助于进一步地了解二叠纪-三叠纪之交生物大灭绝后东北地区植物群的演替和发展。

**关键词:** 华丽尼尔桑; 苏铁类; 中三叠统; 林家植物群; 古地理; 辽宁省

## DISCOVERY OF THE MIDDLE TRIASSIC CYCAD *Nilssonia splendens* IN BENXI CITY, LIAONING PROVINCE

ZHOU Chen-xin<sup>1</sup>, ZHOU Yue<sup>1</sup>, ZHANG Yi<sup>1,2</sup>, ZHENG Shao-lin<sup>3</sup>, WANG rong<sup>1</sup>, TAN Feng-ting<sup>1</sup>

1. College of Paleontology, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China; 2. Key Laboratory for Evolution of Past Life in Northeast Asia, Ministry of Natural Resources, Shenyang 110034, China; 3. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

**Abstract:** *Nilssonia* Brongniart 1825 is one of representatives of Cycadophyta. It was widely distributed in China and the world through geological time. Recently, a pair of specimens of *Nilssonia splendens* Sun 1993 was discovered from the Middle Triassic Linjia Formation of Benxi, Liaoning in Northeast China. The species differentiates from other species of *Nilssonia* in their leaves with a slender rachis; veins generally without bifurcation, clear and thinner, slightly dense, closely to parallel, slightly upward curving to the apex, occurring at concentration of 28 per cm. Since *N. splendens* was first identified by Sun in 1993, the species has only been documented in the Upper Triassic in East Asia. The present specimens are the first record from the Middle Triassic. According to the present fossil specimens, and the transitional relationships of lamina segments and rachis from type specimens of Tianqiaoling in Jilin, China, the reconstruction of *N. splendens* was suggested. The origin and diffusion of *N. splendens* suggest that this species from the Middle Triassic Linjia Formation, not only enlarges the knowledge in taxonomy of *Nilssonia*, but also provides an

收稿日期: 2022-09-06; 修回日期: 2022-12-12. 编辑: 黄欣.

基金项目: 国家自然科学基金项目“辽宁本溪中三叠世林家植物群系统研究”(编号 31470324); 沈阳师范大学大学生创新创业训练计划项目(国家级)“辽宁本溪中三叠世尼尔桑属研究”(编号 202123001).

作者简介: 周晨馨(2001—), 女, 主要从事古植物学研究, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 253 号, E-mail//512755427@qq.com

通信作者: 张宜(1965—), 男, 教授, 主要从事古植物学、古生物地理学、地质时期生物群重建研究和教学, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 253 号, E-mail//zhangyihzlmh@synu.edu.cn

opportunity to understand the evolution of *Nilssonia* in the mass extinction through the Permian-Triassic transition and its subsequent recovery in Northeast China.

**Key words:** *Nilssonia splendens*; Cycads; Middle Triassic; Linjia flora; paleogeography; Liaoning Province

## 0 序言

尼尔桑属(*Nilssonia* Brongniart 1825)<sup>[1]</sup>, 又称蕉羽叶属<sup>[2-3]</sup>, 是中生代分布较广的一类苏铁植物. 该属主要特征为: 羽叶披针形或线形, 全缘或分成裂片, 裂片变化大, 着生于羽轴的上面(即腹面上), 遮盖着大部分的羽轴. 叶脉不分叉或分叉, 彼此接近平行<sup>[2-3]</sup>. 根据现有资料, 尼尔桑属是一个分布时代大致为从晚石炭世至晚白垩世<sup>[2-3]</sup>的世界广布属.

尼尔桑属曾因其雌性繁殖器官结构疏松, 与现生的苏铁目存在差异而单独归为尼尔桑目<sup>[3-4]</sup>. 但因为这种植物雌雄异株, 与苏铁目植物相同, 现一般将其归于苏铁目<sup>[5]</sup>. 因此, 现生苏铁植物门只包括苏铁目和本内苏铁目<sup>[5-9]</sup>.

孙革<sup>[8]</sup>采集晚三叠世吉林天桥岭马鹿沟组的标本建立了华丽尼尔桑 *Nilssonia splendens* Sun 1993, 区别于其他种的主要特征是: 羽叶的叶轴较细; 裂片的叶脉细而清晰, 略密, 近平行, 基本不分叉, 至顶端微上弯, 每 0.5 cm 宽具脉约 14 条. 该种也报道于日本晚三叠世<sup>[10]</sup>.

前人在辽宁本溪中三叠统林家组发现的苏铁植物仅包括侧羽叶属 *Pterophyllum* 和中国似查米亚属 *Sinozamites*<sup>[5, 11]</sup>. 最近, 在林家组研究中发现了华丽尼尔桑 *Nilssonia splendens*, 这是该种在中三叠世首次发现, 不仅拓展了华丽尼尔桑的地质历史分布, 也进一步丰富了对林家植物群中苏铁植物的认识.

## 1 材料与方法

辽宁本溪中三叠世林家植物群化石产地位于辽宁省本溪市太子河北岸林家崴子附近, 出露厚度 158.4 m. 上部由黄绿色长石石英砂岩和页岩夹紫色及黑色页岩组成, 下部由黄绿色、灰白色砾岩和交错层状砂岩组成. 该组平行不整合于下三叠统郑家组(红砬组)之上, 未见上覆地层<sup>[11]</sup>. 根据对林家组底部凝灰质砂岩中 30 颗晶形较好的锆石测年结果, 4 颗年龄最轻锆石的平均 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为 239.5±4 Ma<sup>[12]</sup>. 地层对比、

岩性特征、平行不整合接触关系、锆石测年及其他动植物化石证据<sup>[12-14]</sup>都明确表明了林家组的时代属于中三叠世.

在本溪地区林家崴子村西南约 750 m 前甸子(123°41'3.24" E, 41°16'24.18" N)的林家组剖面第四层发现了一对正反面的华丽尼尔桑化石标本. 本地区还发现了其他类型丰富的植物化石, 包括古生代分子, 如瓣轮叶 *Labatannuria*<sup>[11, 15]</sup>; 中生代分子, 如肋木 *Pleuromeia*<sup>[13]</sup>及中国似查米亚 *Sinozamites*<sup>[5, 11]</sup>.

化石标本用佳能 A700 相机进行宏观照相. 标本保存于辽宁古生物博物馆, 登记编号 PMOL-B01372A、B.

## 2 系统古植物学

苏铁植物门 Cycadophyta

苏铁纲 Cycadopsida

苏铁目 Cycadales

尼尔桑属 *Nilssonia* Brongniart 1825

模式种 短叶尼尔桑 *Nilssonia brevis*

Brongniart 1825

华丽尼尔桑 *Nilssonia splendens* Sun 1993

1979 *Nilssonia acuminata*, 孙革<sup>[6]</sup>, 页 313

1980 *Nilssoniocladus* sp. 吴水波等<sup>[17]</sup>, 页 195

*Nilssonia acuminata*, 同上, 页 200, 图版 2, 图 1

1993 *Nilssonia splendens*, 孙革<sup>[8]</sup>页 77, 图版 21, 图 4-5; 图版 22; 图版 23, 图 1-4; 图版 24, 图 1-4; 图版 25, 图 1-4

2012 *Nilssonia splendens*, Yukawa 等<sup>[10]</sup>, 30 页, 图 5a

2016 *Nilssonia splendens*, 孙克勤等<sup>[18]</sup>, 页 219, 图版 149, 图 5-7

产地: 辽宁本溪, 林家组

时代: 中三叠世

描述: 标本 PMOL-B01372A、B 为正反面标本(图 1), 仅保留了一个羽片的局部. 该羽片(PF)上有 3 枚裂片(图 1b, 白色描边的裂片), 和来自其他羽轴的一枚裂片(图 1b, 黄色描边的裂片 LN). 此外, 还保留了 2

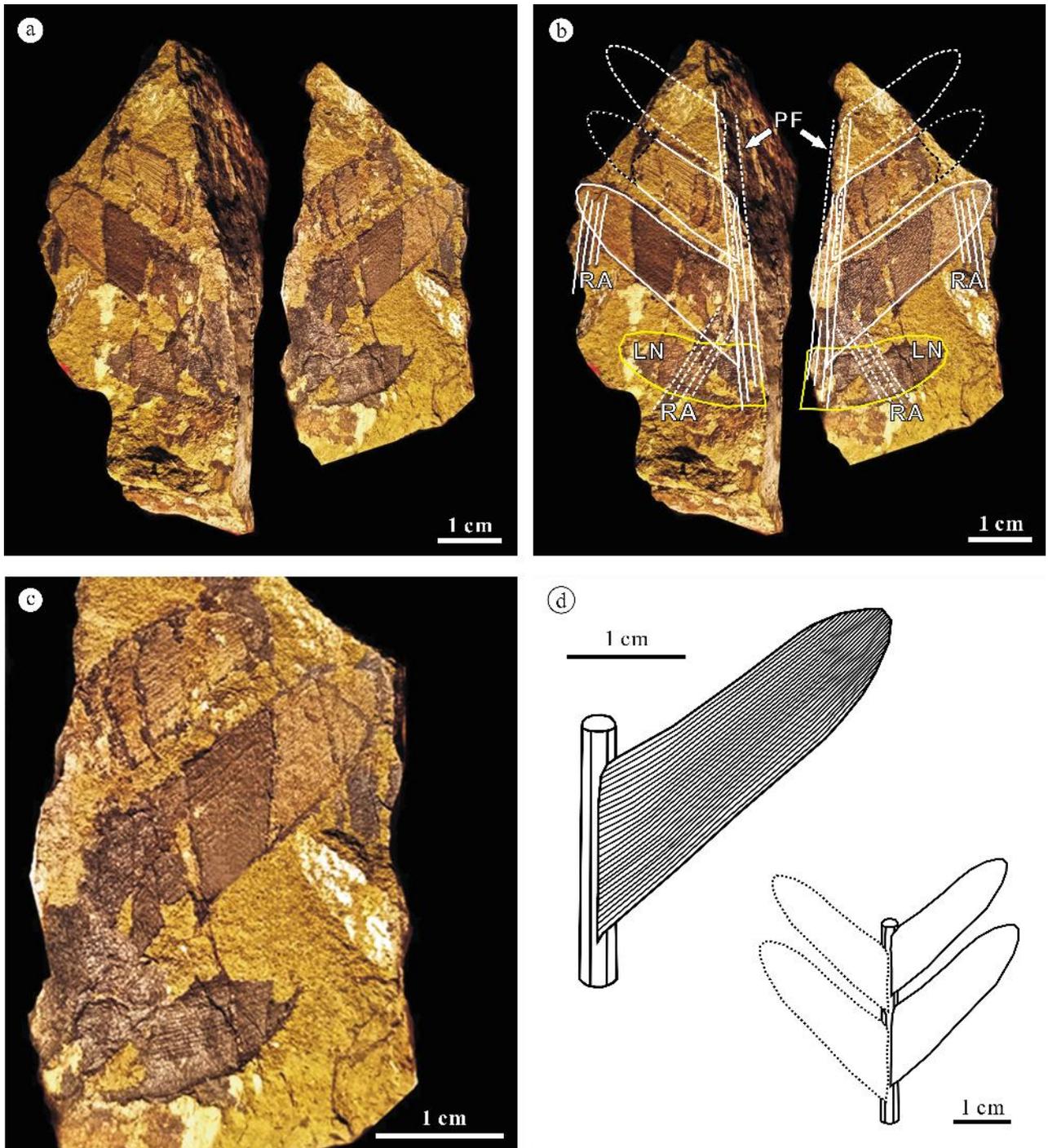


图 1 林家组华丽尼爾桑羽片标本

Fig. 1 Specimens of *Nilssonia splendens* Sun 1993 from Linjia Formation

a—正负面标本(part and counterpart of specimen); b—标注后的标本照片(labeled specimen): PF—部分羽片具 3 枚裂片(partial leaf with three lamina segments), LN—来自其他羽轴的一枚裂片 (a lamina segment from other rachis), RA—裂片可能脱落的羽轴 (possible rachis with no attached lamina segment); c—系 a 的右侧标本局部放大(enlargement of the right-side specimen in Fig. 1a); d—华丽尼爾桑羽片局部重建, 示裂片在羽轴上排列方式、形态和叶脉(partial reconstruction of *Nilssonia splendens*, showing the arrangement, morphology and venation of lamina segment)

个裂片脱落的可能的羽轴(图 1b, 白色描边的羽轴 RA).  
羽叶排列紧密, 长至少 6 cm, 宽 4~6 cm; 羽轴细,

最宽处约 3 mm, 表面依稀可见 2~3 条纵纹; 裂片长椭圆形, 宽 0.8~1 cm, 长 2~3 cm, 全缘, 覆盖在羽轴上,

与羽轴的交角 60~70°, 两侧边近平行, 顶端钝圆(图 1b); 叶脉清晰, 细密, 发自裂片基部, 不分叉, 平行到达顶端, 每 1 cm 宽具脉约 28 条(图 1d).

### 3 讨论

#### 3.1 华丽尼尔桑属种比较

尼尔桑属的主要特征是羽叶披针形或线形, 全缘或分成裂片, 裂片变化大, 着生于羽轴的上面(即腹面上), 遮盖着大部分的羽轴. 叶脉不分叉或分叉, 彼此近平行<sup>[2-3]</sup>. 当前标本归入尼尔桑属的依据是裂片覆盖在羽轴上, 叶脉基本不分叉<sup>[3]</sup>.

尽管当前标本与华丽尼尔桑模式标本相比不够完整<sup>[8]</sup>, 但仍然保存了相对较好的部分羽叶, 尤其是当前标本裂片的形态和叶脉特征与华丽尼尔桑关键特征非常一致, 即: 羽叶的叶轴较细; 裂片的叶脉细而清晰, 略密, 近平行, 基本不分叉, 至顶端微上弯, 每 1 cm 宽具脉约 28 条, 也就是模式种所描述过的特征每 0.5 cm 具脉 14 条.

当前标本所保留的 2 个裂片脱落的羽轴(图 1b, RA), 因为羽轴宽度约 3 mm, 也有 2 条纵纹, 而且排列方向与 PF 的羽轴方向基本一致, 而苏铁类植物羽叶是簇生的, 推测可能是同一株植物体的不同羽轴.

当前标本与日本晚三叠世成羽植物群的华丽尼尔桑标本非常相似<sup>[10]</sup>, 区别在于当前标本的裂片顶端钝圆, 而成羽植物群标本顶部略呈钝尖.

在已知的尼尔桑属植物中, 华丽尼尔桑(*Nilssoniasplendens* Sun 1993) 与粗脉尼尔桑(*Nilssoniasgrossinervis* Prynada 1938)、迟熟尼尔桑(*Nilssoniaserotina* Heer 1878) 和柔轴尼尔桑(*Nilssonias tenuicaulis* Phillips 1835) 在形态上较为相似, 都呈羽状复叶, 羽轴具纵纹, 叶脉平行且不分叉的特征. 主要差别是粗脉尼尔桑每 1 cm 具叶脉 15 条<sup>[19]</sup>, 迟熟尼尔桑 20 条<sup>[20]</sup>, 柔轴尼尔桑可达 19 条<sup>[2]</sup>.

#### 3.2 华丽尼尔桑的羽叶重建

Halle 在 1927 年<sup>[21]</sup>对齿叶属 *Tingia* 的整体形态研究过程中, 探讨了通过多块化石之间的过渡关系来推测植物羽叶整体形态的方法.

当前标本所示的华丽尼尔桑裂片的形状和叶脉非常清晰, 由此可以重建华丽尼尔桑完整的裂片(图 1d 左图). 尽管当前标本仅保存了部分羽叶, 但 1993 年

孙革建立华丽尼尔桑模式种时<sup>[8]</sup>, 化石所示的羽叶顶部、中部和基部各部分近乎完美. 通过对多个化石图版的对比和过渡关系的分析, 可以重建华丽尼尔桑的羽叶.

重建的华丽尼尔桑叠羽叶, 其顶部参考孙革<sup>[8]</sup>化石图版 24-1; 上部、中部和下部参考图版 24-2 和 23-3; 基部和叶柄参考图版 25-2(图 2).

#### 3.3 华丽尼尔桑的分类位置

当前苏铁植物已归入苏铁植物门. 苏铁植物门的系统分类存在两种意见. 一种是分为 3 个目, 即苏铁目、尼尔桑目和本内苏铁目<sup>[2, 18]</sup>, 而另一种意见是将尼尔桑目归入苏铁目即苏铁植物门只包括苏铁目和本内苏铁目<sup>[8]</sup>.

苏铁目和本内苏铁目的主要差别在前者发育单唇式气孔器, 雌雄异株; 后者发育双唇型气孔器, 雌雄同株<sup>[2, 8, 18]</sup>.

苏铁目与尼尔桑目的主要区别是雌性繁殖器官. Carruthers 于 1869 年在英国约克郡地层中发现了一种球果, 其孢子叶排列疏松, 上具有两个种子, 和现代苏铁植物中查米亚属 *Zamia* 有些相似, 创名为宾尼亚属 *Beania*<sup>[2, 22]</sup>. Nathorst、Gothan、Thomas 和 Harris 的研究证明了这类化石属于尼尔桑的雌性球果<sup>[3]</sup>. 尼尔桑属雄球果由 Schimper 在 1872 发现并命名为 *Androstrobus*<sup>[2, 23]</sup>. 胡雨帆在中国四川攀枝花上三叠统宝鼎煤矿大莽地组发现该属<sup>[4]</sup>, 并取中文名为铁雄果属. 该属关键特征是: 像苏铁的圆柱状雄球果, 具覆瓦状的鳞片, 背面有无柄的花粉囊. 花粉粒卵形, 具单槽<sup>[3, 7, 20]</sup>.

本研究采纳 Taylor 等<sup>[9]</sup>的意见, 将尼尔桑属归入苏铁目, 是因为尼尔桑属具有单唇型气孔器. 另外尼尔桑类的雄性繁殖器官也与苏铁类非常相似, 而尼尔桑类雌性繁殖器官与苏铁类相比具有原始性.

#### 3.4 华丽尼尔桑的地质历史分布

华丽尼尔桑的已知分布地较少. 中三叠世林家植物群所发现的华丽尼尔桑是迄今为止已知该种的最早记录. 该植物群位于暖温带(图 3).

中三叠世后全球气候明显转向温暖潮湿, 华丽尼尔桑分布范围得到了一定扩大. 该种在中国吉林天桥岭植物群<sup>[8]</sup>和日本成羽植物群<sup>[10]</sup>中均有发现. 这两个植物群也均位于暖温带(图 4).

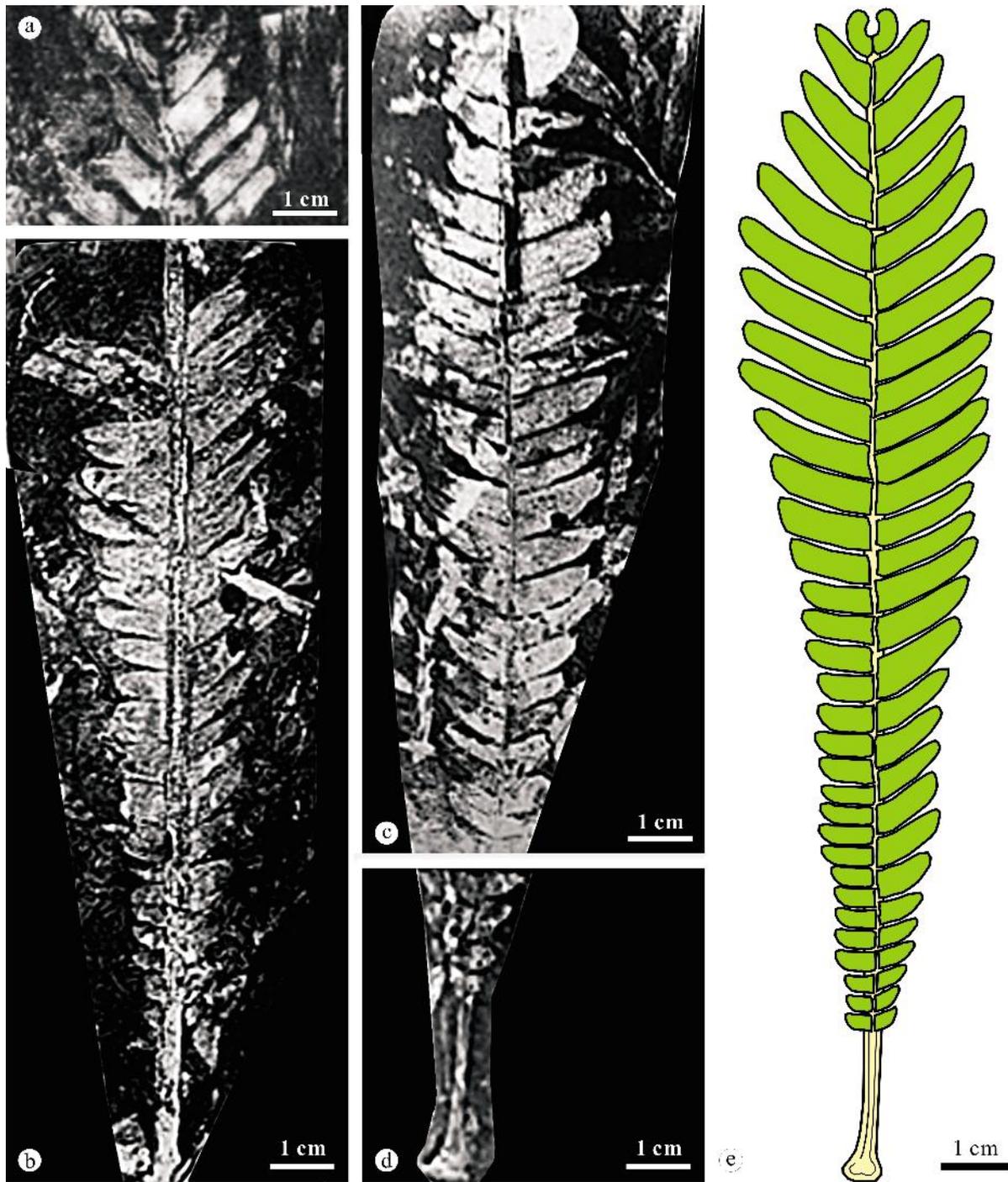


图 2 华丽尼爾桑羽叶重建  
(据文献[8]修改)

Fig. 2 Reconstruction of the *Nilssonia splendens* leaf  
(Modified from Reference [8])

a—文献[8]图版 24-1 局部, 示羽叶顶部(part of Pl. 24-1, showing the apex of leaf); b—文献[8]图版 24-2, 示羽叶上部、中部和下部(Pl. 24-2, showing the upper, middle and lower parts of leaf); c—文献[8]图版 23-3, 示羽叶上部、中部和下部(Pl. 23-3, showing the upper, middle and lower parts of leaf); d—文献[8]图版 25-2, 示羽叶基部和叶柄(Pl. 25-2, showing the base and petiole of leaf); e—华丽尼爾桑羽叶重建(reconstruction of *Nilssonia splendens* leaf)

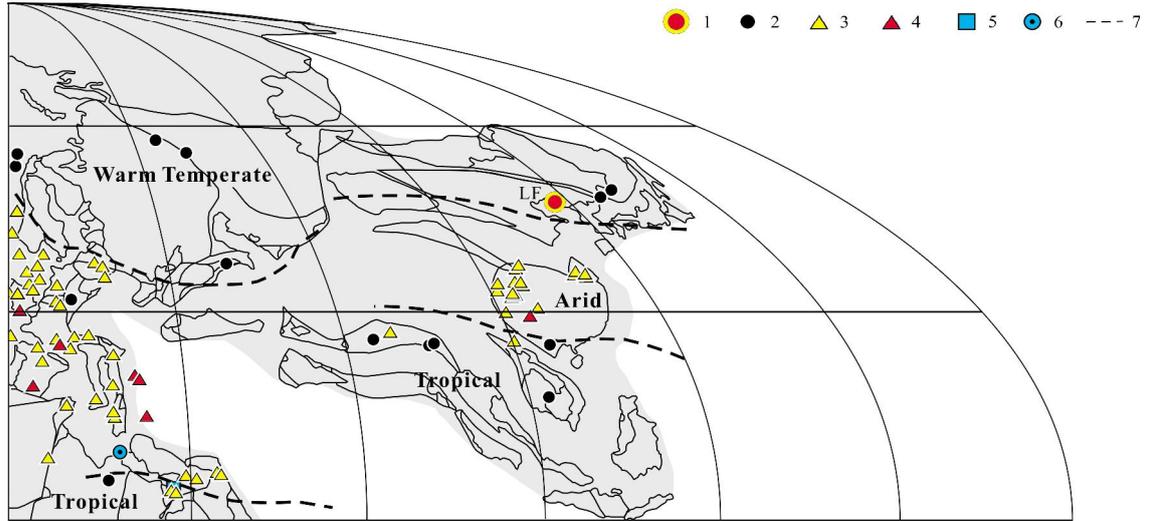


图3 中三叠世华丽尼尔桑的分布  
(据文献[24]修改)

Fig. 3 Distribution of *Nilssonia splendens* in Middle Triassic  
(Modified from Reference [24])

LF—林家植物群 (Linjia flora); Tropical—热带; Arid—干旱带; Warm Temperate—暖温带; 1—华丽尼尔桑化石产地 (origin of *Nilssonia splendens*); 2—成煤植物群 (coal-forming flora); 3—蒸发岩 (evaporite); 4—钙质壳 (calcrete); 5—高岭石 (kaolinite); 6—铝土矿 (bauxite); 7—气候带界线 (boundary of climatic zone)

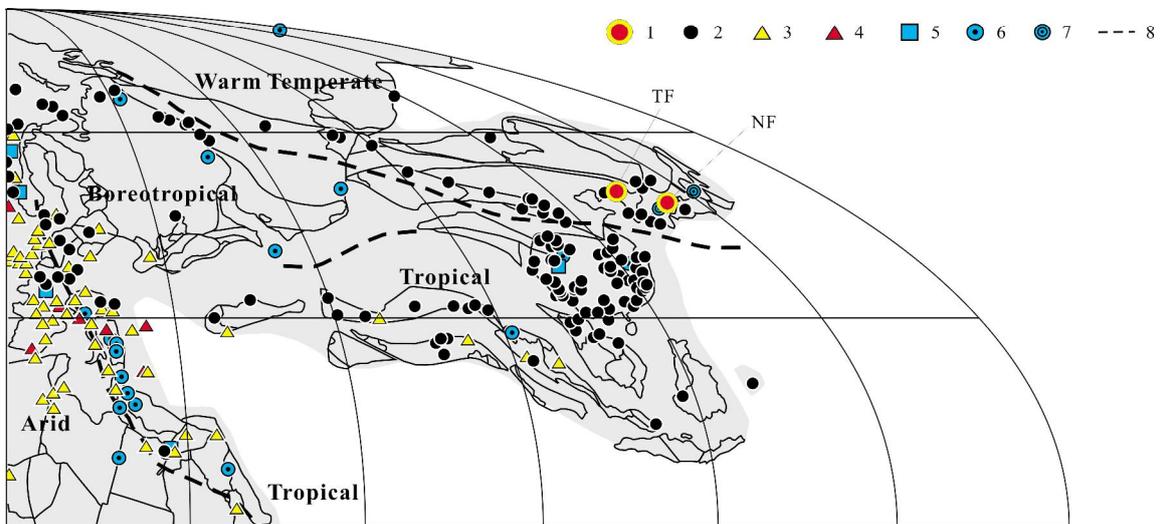


图4 晚三叠世华丽尼尔桑的分布  
(据文献[24]修改)

Fig. 4 Distribution of *Nilssonia splendens* in Late Triassic  
(Modified from Reference [24])

TF—天桥岭植物群 (Tianqiaoling flora); NF—成羽植物群 (Nariwa flora); Tropical—热带; Boreotropical—北方热带; Warm Temperate—暖温带; 1—华丽尼尔桑化石产地 (origin of *Nilssonia splendens*); 2—成煤植物群 (coal-forming flora); 3—蒸发岩 (evaporite); 4—钙质壳 (calcrete); 5—高岭石 (kaolinite); 6—铝土矿 (bauxite); 7—鲕状铁矿 (oolitic ironstone); 8—气候带界线 (boundary of climatic zone)

华丽尼尔桑可能是二叠纪-三叠纪之交生物大灭绝后在东北地区兴起的尼尔桑属植物, 在中晚三叠世

东北亚地区得到一定的发展. 从已有的资料来看, 该种适合暖温带气候. 早侏罗世, 尚未发现该种记录, 是

否灭绝有待进一步资料证实。

#### 4 结论

尼尔桑属(*Nilssonia* Brongniart 1825)是苏铁植物门(Cycadophyta)代表分子之一,在中国和世界均有相当广泛的分布。尼尔桑属主要特征为叶轴细;叶羽状分裂,裂片近对生,基部覆于叶轴上表面(腹面)的大部分或两侧边缘;裂片形态变化大,顶部略上弯,顶钝尖;叶脉细密平行,基本不分叉。

华丽尼尔桑(*Nilssonia splendens* Sun 1993)区别于尼尔桑属其他种的主要特征是为羽叶的叶轴较细;裂片的叶脉细而清晰,略密,近平行,基本不分叉,至顶端微上弯,每1 cm宽具脉约28条。自1993年孙革报道华丽尼尔桑以来,该种仅见于东亚上三叠统,辽宁本溪林家组是该种在中三叠统的首次发现。

本研究根据当前标本所显示的裂片和羽轴上下过渡关系,结合中国吉林天桥岭模式标本,对华丽尼尔桑的羽叶进行了重建,探讨了辽宁本溪中三叠统林家组华丽尼尔桑与东亚上三叠统华丽尼尔桑在起源和古地理上存在的可能关系。

该种在辽宁本溪林家组的发现不仅扩展了华丽尼尔桑的地质历史分布,丰富了林家植物群面貌,也有助于进一步研究二叠纪—三叠纪之交生物大灭绝后东北地区植物群的演替和发展。

致谢:感谢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和生物演化与环境卓越创新中心王永栋研究员对本论文提出了宝贵意见;并感谢沈阳师范大学古生物学院孙革教授、辽宁省本溪市国土局本溪国家地质公园办公室刘洋主任对研究工作的大力支持和帮助。

#### 参考文献(References):

[1] Brongniart A. Observations sur les végétaux fossils renfermés dans les grès de Hoer en Scanie[J]. Annales des Sciences Naturelles, 1825, 4: 200–224.

[2] 斯行健, 李星学, 周志炎, 等. 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: 1–429.

Sze H C, Li X X, Zhou Z Y, et al. Chinese fossil plants II. Mesozoic fossil plants from China[M]. Beijing: Sciences Press, 1963: 1–429. (in Chinese)

[3] 中国科学院南京地质古生物研究所, 中国科学院植物研究所《中国古生代植物》编写小组. 中国植物化石, 第一册 中国古生代植物[M]. 北京: 科学出版社, 1974: 1–277.

Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, CAS, Institute of Botany, CAS. Chinese fossil plants I. Palaeozoic plants from China[M]. Beijing: Sciences Press, 1963: 1–277. (in Chinese)

[4] 胡雨帆. 铁雄果属化石在我国攀枝花首次发现及其意义[J]. 植物学报, 1995, 12(2): 31–35.

Hu Y F. First discovery of *Androstrobus* Schimper in Panzhihua, China and its Paleobiological and geological significance[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1995, 12(2): 31–35.

[5] 韩明慧, 张宜, 郑少林, 等. 辽宁本溪中三叠统苏铁类密脉中国似查米亚[J]. 地质与资源, 2018, 27(1): 22–32, 53.

Han M H, Zhang Y, Zheng S L, et al. *Sinozamites myrioneurus* (Cycadales) from the Middle Triassic strata in Benxi, Liaoning Province[J]. Geology and Resources, 2018, 27(1): 22–32, 53.

[6] Pott C, McLoughlin S, Lindstrom A. Late Palaeozoic foliage from China displays affinities to Cycadales rather than to Bennettiales necessitating: A re-evaluation of the Palaeozoic *Pterophyllum* species[J]. Acta Palaeontologica Polonica, 2010, 55(1): 157–168.

[7] 徐仁, 朱家祯, 陈晔, 等. 中国晚三叠世宝鼎植物群[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1–130.

Xu R, Zhu J R, Chen Y, et al. Late Triassic baoding flora of China[M]. Beijing: Science Press, 1979: 1–130. (in Chinese)

[8] 孙革. 中国吉林天桥岭晚三叠世植物群[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1993: 1–157.

Sun G. Late Triassic flora from Tianqiaoling of Jilin, China[M]. Changchun: Jilin Science and Technology Publishing House, 1993: 1–157. (in Chinese)

[9] Taylor T N, Taylor E L, Krings M. Paleobotany: The biology and evolution of fossil plants[M]. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2009: 1–1230.

[10] Yukawa H, Terada K, Sun G, et al. The oldest fossil forest in Japan discovered from the Upper Triassic Nariwa Group, Okayama Prefecture, SW Japan[J]. Okayama University Earth Science Report, 2012, 19(1): 25–37. (in Japanese with English abstract)

[11] 张武, 郑少林, 常绍泉. 辽宁本溪中三叠世林家植物群的研究[C]// 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1983, 8: 62–91.

Zhang W, Zheng S L, Chang S Q. Studies on the Middle Triassic plants from the Linjia Formation of Benxi, Liaoning Province[C]// Bulletin of the Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 1983, 8: 62–91.

[12] 张宜, 郑少林, 李之彤, 等. 辽东本溪林家组属于中三叠世之锆石、古生物和地层证据[J]. 地质与资源, 2019, 28(5): 434–442.

Zhang Y, Zheng S L, Li Z T, et al. The Linjia Formation in Benxi, East Liaoning Province assigned to Middle Triassic: Evidences from zircon, fossil and stratigraphy[J]. Geology and Resources, 2019, 28

- (5): 434-442.
- [13] Zhang Y, Wang Y D, Hong Y, et al. *Pleuromeia* discovered from the Middle Triassic Linjia Formation of Benxi, Northeast China [J]. *Palaeoworld*, 2020, 29(4): 706-714.
- [14] 洪友崇. 辽宁本溪林家组的蜚蠊化石(昆虫纲)及时代讨论[C]//中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1983, 8: 57-61.  
Hong Y C. Fossil Blattods (Insecta) from Linjia Formation of Benxi in Liaoning Province and discussion about their age[C]//Bulletin of the Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences. 1983, 8: 57-61.
- [15] 徐亦知, 岳宁, 刘石, 等. 辽宁本溪中三叠统林家瓣轮叶(新种)[J]. *古生物学报*, 2020, 51(3): 329-344.  
Xu Y Z, Yue N, Liu S, et al. *Lobatannularia linjiaensis* sp. nov. from the Middle Triassic of Benxi, Liaoning[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2020, 51(3): 329-344.
- [16] 孙革. 准苏铁果属(*Cycadocarpidium*)在吉林汪清县晚三叠世地层的发现[J]. *古生物学报*, 1979, 18(3): 312-325.  
Sun G. On the discovery of *Cycadocarpidium* from the Upper Triassic of eastern Jilin[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1979, 18(3): 312-325.
- [17] 吴水波, 孙革, 刘渭州, 等. 吉林东部托盘沟地区的上三叠统[J]. *地层学杂志*, 1980, 4(3): 191-200.  
Wu S B, Sun G, Liu W Z, et al. The Upper Triassic of Tuopangou, Wangqing of eastern Jilin[J]. *Journal of Stratigraphy*, 1980, 4(3): 191-200. (in Chinese)
- [18] 孙克勤, 崔金钟, 王士俊. 中国化石植物志(第三卷): 中国化石裸子植物 I [M]. 北京: 高等教育出版社, 2016: 1-382.  
Sun K Q, Cui J Z, Wang S J. Fossil flora of China (V. III): Fossil gymnosperms in China I. [M]. Beijing: Higher Education Press, 2016: 1-382.
- [19] 任守勤, 陈芬. 内蒙古海拉尔五九煤盆地早白垩世大磨拐河组植物化石[J]. *古生物学报*, 1989, 28(5): 634-638, 705-707.  
Ren S Q, Chen F. Fossil plants from Early Cretaceous Damoguaihe Formation in Wujiu coal basin, Hailar, Inner Mongolia [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1989, 28(5): 634-638, 705-707. (in Chinese)
- [20] 陈芬, 孟祥营, 任守勤, 等. 辽宁阜新和铁法盆地早白垩世植物群及含煤地层[M]. 北京: 地质出版社, 1988: 1-180.  
Chen F, Meng X Y, Ren S Q, et al. The Early Cretaceous flora of Fuxin Basin and Tiefsa Basin, Liaoning Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 1-180. (in Chinese)
- [21] Halle T G. Paleozoic plants from central Shanxi [J]. *Palaeontologia Sinica: Series A*, 1927, 2(1): 1-316.
- [22] Carruthers W. I.— On *Beania*, a new genus of Cycadean fruit, from the Yorkshire Oolites [J]. *Geological Magazine*, 1869, 6(57): 97-99.
- [23] Schimper W P. *Traité de paléontologie végétal* [M]. Paris: JB Baillièrre et Fils, 1870-1872: 1-966.
- [24] Boucot A J, Xu C, Scotese C R. Phanerozoic paleoclimate: an atlas of lithologic indicators of climate [M]. Oklahoma: Society for Sedimentary Geology, 2013: 1-478.

(上接第 224 页/Continued from Page 224)

- [17] 王伟锋, 陆诗阔, 谢向阳, 等. 阜新盆地的油气保存条件[J]. *新疆石油地质*, 1998, 19(3): 202-206.  
Wang W F, Lu S K, Xie X Y, et al. Evaluation of hydrocarbon preservation conditions in Fuxin Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1998, 19(3): 202-206.
- [18] 李凤琴, 秦菲莉, 陈汉林, 等. 自然伽马能谱资料在油田勘探中的应用[J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2005, 27(6): 874-876.  
Li F Q, Qin F L, Chen H L, et al. Application of natural gamma-ray spectrum data in oilfield exploration [J]. *Journal of Oil and Gas Technology (JJPI)*, 2005, 27(6): 874-876. (in Chinese)
- [19] 王贵文, 朱振宇, 朱广宇. 烃源岩测井识别与评价方法研究[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(4): 50-52.  
Wang G W, Zhu Z Y, Zhu G Y. Logging identification and evaluation of Cambrian-Ordovician source rocks in syncline of Tarim basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(4): 50-52.
- [20] 董慧超. 自然伽马能谱测井的应用[J]. *石化技术*, 2017, 24(4): 260.  
Dong H C. The application of natural gamma-ray logging [J]. *Petrochemical Industry Technology*, 2017, 24(4): 260. (in Chinese)
- [21] 刘峰, 李军, 缪定云. 自然伽马能谱测井在吐哈盆地盖层评价中的应用[J]. *测井技术*, 2003, 27(3): 238-241.  
Liu F, Li J, Miao D Y. Application of natural gamma ray spectrometry log to the shale cap rock character evaluation in Tuha Basin [J]. *Well Logging Technology*, 2003, 27(3): 238-241.
- [22] 黄隆基. 放射性测井原理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1985: 1-261.  
Huang L J. Theory of radioactive well logging [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1985: 1-261. (in Chinese)
- [23] 丁永浩, 任莉. 中东 T 油田灰岩储层自然伽马能谱测井的应用[J]. *物探与化探*, 2014, 38(5): 890-894.  
Ding Y H, Ren L. The application of natural gamma spectrometry log to limestone reservoir in T Oilfield of Middle East [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2014, 38(5): 890-894.