

内蒙古宁城道虎沟中、上侏罗统海房沟组孢粉组合*

张前旗^{1,2)} 李建国¹⁾** 黄迪颖³⁾

1) 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, 资源地层学与古地理学院重点实验室, 南京 210008

2) 中国科学院大学, 北京 100049

3) 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, 现代古生物学和地层学国家重点实验室, 南京 210008

摘要 内蒙古宁城道虎沟村一带是著名的道虎沟生物群的代表性产地, 本文对这里的柳树湾剖面海房沟组进行了孢粉分析, 揭示了道虎沟生物群发育的古植被组成面貌, 为研究这一中国北方中、晚侏罗世重要生物群的生态系统及演化提供了重要信息。当前样品含有数量丰富的孢子花粉化石, 但分异度不高, 共计 20 属 15 种及若干未定种。孢粉组合以裸子植物两气囊花粉占优势为特征, 其中以 *Alisporites* 和 *Pseudopicea* 含量最突出, 其次为 *Quadraeculina* 和 *Podocarpidites*。掌鳞杉类 *Classopollis* 常见, 蕨类和苔藓孢子则非常匮乏。孢粉组合的时代很可能为中侏罗世末, 但也不排除至晚侏罗世早期的可能。孢粉组合显示道虎沟生物群发育时期研究区的植被为以裸子植物松柏类针叶林为主的景观, 气候温凉、湿度中等。

关键词 古植被 古气候 海房沟组 中、晚侏罗世 道虎沟 内蒙古自治区

前言

内蒙古宁城一带是中国北方著名的中、晚侏罗世道虎沟生物群的产地, 这里的海房沟组以产出丰富的昆虫、脊椎动物(带羽毛的恐龙类、有尾两栖类、哺乳类等)以及双壳类、腹足类、叶肢介等化石(Ren, 2002; Gao & Shubin, 2003; 沈炎彬等, 2003; Ji *et al.*, 2006; 姜宝玉, 2006; 黄迪颖, 2016)而蜚声中外。这些化石保存精美、类型丰富独特, 被视作我国北方燕辽生物群的代表(洪友崇, 1983; 黄迪颖, 2016)。但是, 关于道虎沟生物群的确切时代一直颇具争议, 有早白垩世(王原, 2000)、晚侏罗世(张俊峰, 2002)、中侏罗世(沈炎彬等, 2003; 袁崇喜等, 2004; 姜宝玉, 2006)、中一晚侏罗世(季强和袁崇喜, 2002; 季强等, 2005)等各种不同意见。同时, 相比于丰富多彩的动物化石, 海房沟组中的大植物化石发现则比较有限, 人们对道虎沟生物群发育时期的古植被、古气候面貌特征的认识还比

较局限。董重等(2016)报道了海房沟组中的一些叶化石和木化石, 是对道虎沟生物群古植物研究的重要揭示。关于海房沟组的孢粉迄今仅有个别研究涉及。张望平(1989)研究了冀北地区中侏罗统上部九龙山组(相当于海房沟组)的孢粉, 称之为 *Cyathidites-Quadraeculina-Classopollis* 组合。Na 等(2015)报道了道虎沟村九龙山组一块样品中的孢粉组合, 认为其时代为中侏罗世, 反映了以裸子植物和真蕨类为主的古植被面貌。本文材料是对海房沟孢粉植物群材料的一个有益补充。

1 研究材料和方法

道虎沟村位于内蒙古自治区、辽宁省和河北省三省交界处的内蒙古宁城县(图 1), 附近的中生界主要发育有中、上侏罗统海房沟组(也有人称为九龙山组)、髫髻山组、土城子组及下白垩统义县组(黄迪颖, 2016)。

* 本研究得到了国家重点研发计划“深地资源勘查开采(2016YFC0600406)”和中国科学院战略性先导专项(B类)“地球内部运行机制与表层响应(XDB18000000)”和国家自然科学基金项目(41688103)的支持。

** 通讯作者(Corresponding author) E-mail: jgli@nigpas.ac.cn

收稿日期 2018-03-16, 修改稿收到日期 2018-04-02

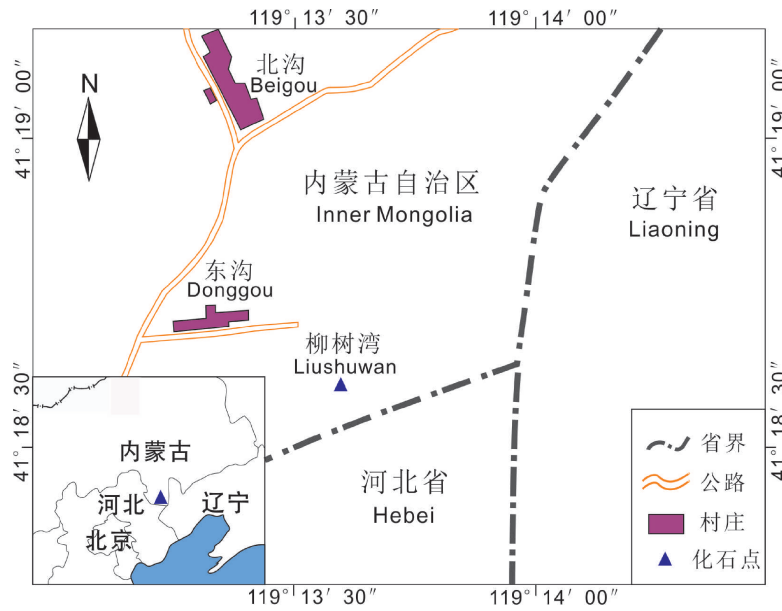


图 1 道虎沟村地理图,示采样点位置(柳树湾)

Fig. 1 Geographic map of the Daohugou Village, showing the location of the sampling site (Liushuwan)

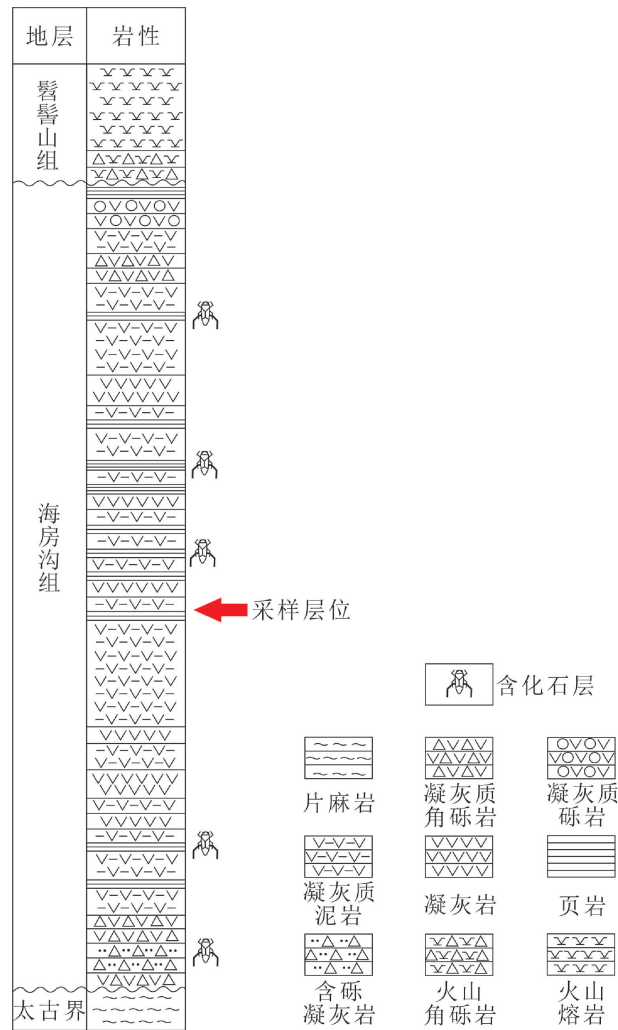


图 2 道虎沟化石层地层柱状图(引自黄迪颖,2016),箭头示本文孢粉样品产出层位

Fig. 2 Stratigraphic column of the Daohugou fossil beds (after Huang,2016), with the position of palynological sample (arrow)

本文样品采自海房沟村(包括东沟和北沟两部分)东南角的柳树湾(图1)。海房沟组在此处出露的岩性主要为灰白色、黄灰色复成分砾岩夹黄灰色长石石英砂岩、粉砂岩及页岩,局部夹碳质页岩、煤层及灰色与灰绿色流纹质凝灰熔岩、凝灰岩等。孢粉样品主要采自中部的灰色、棕黄色页岩(图2),系道虎沟生物群的主化石层底部,即黄迪颖(2016)所描述之“上化石层”,该层产有丰富的昆虫和植物化石(黄迪颖,2016;董重等,2016)。本文共计采集分析10块孢粉样品,样品间隔约0.5—1.0 m,采样总厚度约10 m。样品的实验室处理采用常规的盐酸-氢氟酸分析法。化石的鉴定、统计和照相工作均在Zeiss Scope A1光学显微镜下完成。照相薄片均保存于中国科学院南京地

质古生物研究所。

2 孢粉组合特征

经分析、观察,10块样品中仅在第35层的一块样品(样品号:LSW-5)中获得较多孢粉化石。化石保存总体较好,多呈浅黄色。孢粉组合组成比较单一,李建国和张前旗(2016)曾对其基本面貌作了简短的介绍,但并未提供详细的统计信息,也并未深入讨论地层、区域对比和古植被、古气候等问题。本研究对这一样品进一步补充观察了一些薄片,并对各类群进行了统计,获得了孢粉组合的详细组成信息(表1),在此基础上对上述问题进行了更深入和详细的探讨。

表1 柳树湾海房沟组孢粉化石统计表

Table 1 Statistics of fossil pollen and spores from the Haifanggou Formation at Liushuwan

孢粉类群/Taxa of pollen and spores	粒数/Grains	百分含量/Percentage/%
蕨类孢子/Pteridophytic spores	6	3.6
<i>Calamospora</i>	2	1.2
<i>Concavisporites</i> sp.	1	0.6
<i>Cyathidites</i> sp.	1	0.6
<i>Deltoidospora</i>	2	1.2
裸子植物花粉/Gymnospermous pollen	162	96.4
<i>Abietinaepollenites</i>	2	1.2
<i>Alisporites</i>	54	32
<i>Callialasporites trilobatus</i>	1	0.6
<i>Caytonipollenites</i> sp.	2	1.2
<i>Cedripites</i> sp.	2	1.2
<i>Cerebropollenites mesozoicus</i>	1	0.6
<i>Chasmatosporites</i>	2	1.2
<i>Classopollis classoides</i>	21	12.5
<i>Cycadopites</i>	6	3.6
<i>Eucommiidites troedsonii</i>	2	1.2
<i>Pinuspollenites</i>	6	3.6
<i>Pseudopicea</i>	28	16.7
<i>Psophosphaera</i>	6	3.6
<i>Podocarpidites</i>	11	6.5
<i>Quadraeculina</i>	12	7.1
<i>Spheripollenites</i> sp.	2	1.2
<i>Incertae Cedis</i> (bisaccates)	4	2.4
总计/Sum	168	100.0

孢粉组合共计20属15种及一些未定种(详见表1及图3、4,一些种在表1中未予单独统计),组成包括裸子植物花粉和蕨类孢子,其中以前者更发育,它们共计16属,总量达到组合的96.4%,无疑占有绝对优势地位;蕨类孢子在组合中含量很少、类型有限,仅见*Calamospora* (1.2%),*Concavisporites* (0.6%),*Cyathidites* (0.6%)和*Deltoidos-*

pora (1.2%) 4属,总含量仅占3.6%。

裸子植物花粉又以原始松柏类两气囊花粉最为发育,不仅类型丰富,且总含量也达到组合的72.0%。它们中,*Alisporites*和*Pseudopicea*是最常见的两个类群,分别占组合的32%、16.7%。其次是*Quadraeculina*和*Podocarpidites*,分别占7.1%、6.5%。前者形状独特,气囊纹饰发达并缢缩

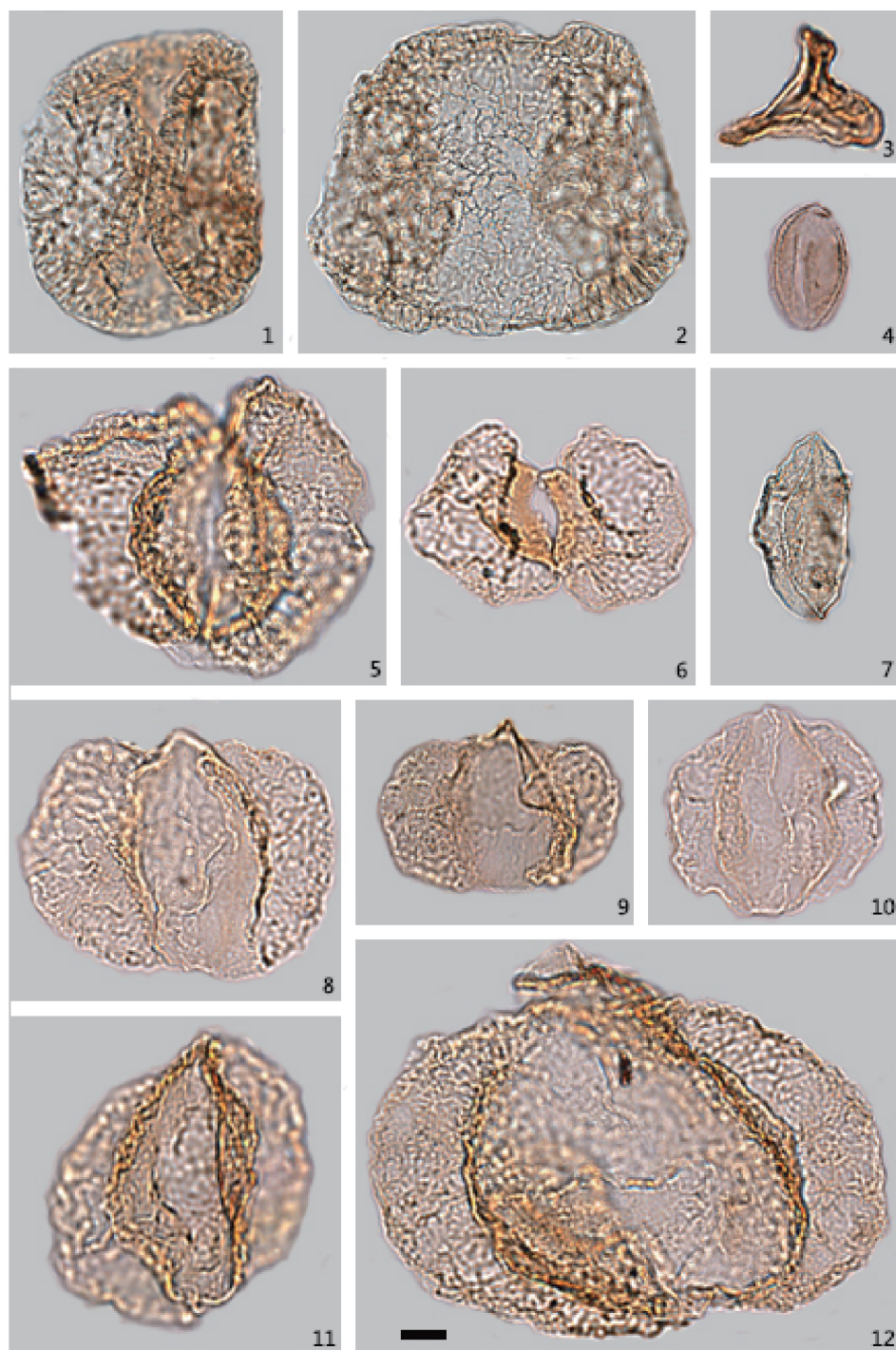


图 3 柳树湾海房沟组代表性孢粉化石 (I)

标本保存于中国科学院南京地质古生物研究所。标本号包括三部分(a/b/c),其中 a 代表样品号; b 表示薄片号; c 代表标本坐标(England Finder)。比例尺为 10 μm

Fig. 3 Representative pollen and spores of the Haifanggou Formation (I)

All specimens are deposited at Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences. Specimen number consists of three parts (a/b/c), which imply the sample number (a), slide number (b), orientation of the England Finder (c). Scale bars=10 μm

1. *Quadraeculina limbata* Maljackina, 1949, LSW-5/4/S39-2; 2. *Quadraeculina anellaeformis* Maljavkina, 1949, LSW-5/4/N32-3; 3. *Concarvoisporites* sp., LSW-5/4/N48; 4. *Eucommiidites troedsonii* (Erdtman, 1948) Potonié, 1958, LSW-5/1/O43; 5. *Podocarpidites canadensis* Pocock, 1962, LSW-5/4/T37-3; 6. *Podocarpidites multesimus* Bolkhovtina, 1956, LSW-5/5/U35-1; 7. *Cycadopites fusiiformis* (Nilson 1958) Arjang, 1975, LSW-5/3/N45-4; 8, 10, 11. *Alisporites australis* De Jersey, 1962; 8. LSW-5/5/P39-3; 10. LSW-5/5/H37-3; 11. LSW-5/2/V38; 9. *Alisporites parvus* De Jersey, 1962, LSW-5/2/V38; 12. *Alisporites thomasi* (Couper) Pocock, 1941, LSW-5/3/Q-45

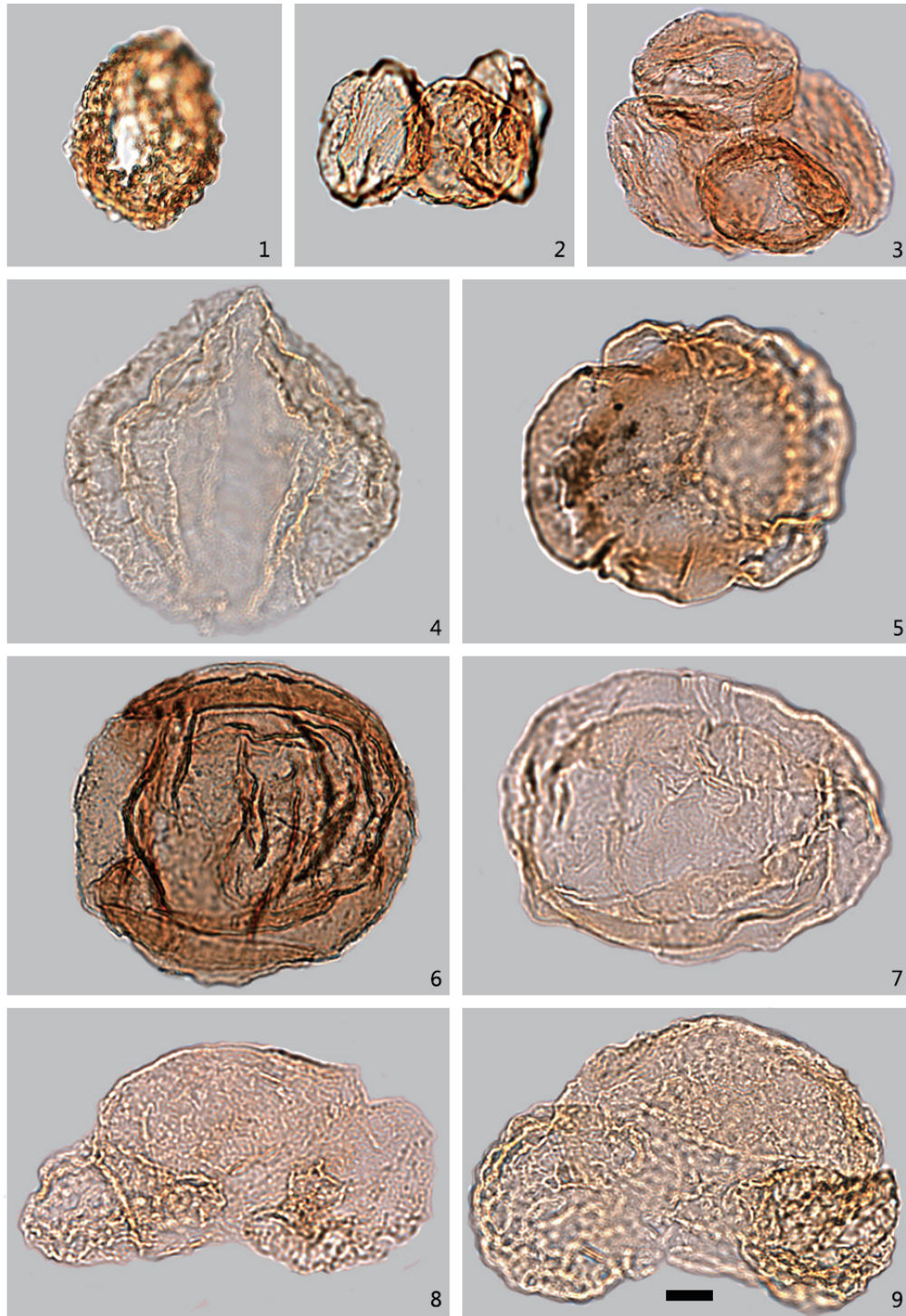


图4 柳树湾海房沟组代表性孢粉化石(Ⅱ)

标本保存于中国科学院南京地质古生物研究所。标本号包括三部分(a/b/c),其中a代表样品号;b表示薄片号;c代表标本坐标(England Finder)。比例尺为10 μm

Fig. 4 Representative pollen and spores of the Haifanggou Formation(Ⅱ)

All specimens are deposited at Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences. Specimen number consists of three parts (a/b/c), which imply the sample number (a), slide number (b), orientation of the England Finder (c). Scale bars=10 μm

1. *Cerebropollenites mesozoicus* (Couper) Nilsson, 1958, LSW-5/4/S30; 2, 3. *Classopollis classoides* Pflug, 1953 emend. Pocock et Janso-
nius, 1961; 2. LSW-5/5/K38-2; 3. LSW-5/3/N41-3; 4. *Pseudopicea rotundiformis* (Malavkina) Bolkhovitina, 1956, LSW-5/4/J37; 5. *Cal-
lialasporites trilobatus* Balme, 1957, LSW-5/4/S37-4; 6, 7. *Psophosphaera bullulinaeformis* (Bolkhovitina, 1949) Zhang, 1978; 6. LSW-5/3/
N-44; 7. LSW-5/5/L41-1; 8, 9. *Pinuspollenites alatiopollenites* (Rouse, 1959) Liu, 1982; 8. LSW-5/5/H43-3; 9. LSW-5/3/E42-2

于本体之下使花粉轮廓总体呈方形。其它两气囊花粉还包括 *Caytonipollenites*, *Cedripites* 和 *Pinuspollenites*, 前两者含量较低, 后者较常见。

裸子植物中的无气囊类花粉以 *Classopollis* 为主, 含量达到了 12.5%; 其次为 *Cycadopites*, *Psophosphaera* 含量均为 3.6%。*Cerebropollenites*, *Spheripollenites*, *Chasmatosporites*, *Eucommiidites* 零星出现, 含量为 0.6%—1.2%。

3 孢粉组合时代及对比

当前道虎沟柳树湾海房沟组的孢粉组合见有较多的 *Quadraeculina* 和 *Callialasporites*, 这两属在侏罗纪孢粉地层划分对比中具有重要意义。*Callialasporites* 的记录始于早侏罗世, 在中、晚侏罗世中高纬度区常常非常发育, 如 Burger(1977)、Courtinat(1989)。*Quadraeculina* 的最早记录有认为是三叠纪末, 而主要繁盛于侏罗纪, 它在中国北方中侏罗世地层中非常常见(宋之琛, 2000)。例如, 在陕甘宁盆地中侏罗统延安组和直罗组中其含量分别为 5%—10% 和 17.5%(徐钰林和张望平, 1980), 在内蒙古石拐煤田中侏罗统长汉沟组、召沟组含量为 5.2%—10.6%(刘兆生, 1982)。另一方面, *Classopollis* 和 *Cyathidites* 在中国北方侏罗系划分对比中也有重要的作用。前者在中侏罗世孢粉组合中比较常见, 但与晚侏罗世的繁盛相比仍相差较远。与之相反, *Cyathidites* 在中国北方中侏罗世组合中非常繁盛、晚侏罗世则明显衰落(宋之琛, 2000)。如在陕甘宁盆地、内蒙古石拐煤田等地区, 中侏罗统晚期直罗组孢粉组合中 *Cyathidites* 的含量为 12%, *Classopollis* 的含量为 6.5%(徐钰林和张望平, 1980); 上侏罗统安定组中 *Cyathidites* 的含量不足 5%, *Classopollis* 的含量为 18%—54%(徐钰林和张望平, 1980)。在冀北、辽西一带的土城子组或后城组中 *Classopollis* 的含量为 0.52%—1.66%(林妙琴等, 2016)。当前孢粉组合中 *Classopollis* 常见但不丰富、*Cyathidites* 含量低, 兼具中、晚侏罗世的特征, 其时代当以中、晚侏罗世过渡期为宜。若综合考虑前述 *Quadraeculina* 和 *Callialasporites* 的发育情况, 时代以中侏罗世晚期的可能性更大。此外, 中国北方中侏罗世晚期和早期孢粉植物群相比, 两气囊类更加繁盛(宋之琛, 2000)。从这一点看, 当前组合的时代似更偏向归于中侏罗世晚期。

关于道虎沟化石层的同位素绝对年龄值有很多

报道, 如季强等(2004)、He 等(2004)、柳永清等(2006)、Sullivan 等(2014), 在此不予一一列举, 可参阅黄迪颖(2016)。尽管对这些年龄的准确性、层位关系等还有不同看法, 但它们总体集中于 159—168 Ma 即中、晚侏罗世界线附近, 这与本文的孢粉地层学结论一致。

张望平(1989)研究了冀北地区中侏罗世九龙山组的孢粉, 称之为 *Cyathidites-Quadraeculina-Classopollis* 组合。组合中占优势的为裸子植物花粉(84%—92%), 蕨类植物孢子较少(8%—16%), 且裸子植物也以两气囊类为主, 这些都与本文柳树湾组合相似。冀北九龙山组孢粉组合中的裸子植物两气囊花粉中, *Quadraeculina* 含量为 2%—19%、*Callialasporites* 的含量为 0—1.5%, 都与本文柳树湾海房沟组合相当(此两者含量分别为 7.1% 和 0.6%)。非两气囊类花粉中, *Classopollis* 含量为 7%—45%、*Cyathidites* 含量为 0.5%—3%, 与本文柳树湾组合含量(分别为 12.5% 和 0.6%)也基本可比。因此, 从主要分子的含量对比来看, 本文柳树湾海房沟组的孢粉组合面貌与冀北九龙山组的基本一致。

那玉玲等(Na *et al.*, 2015)研究了内蒙古赤峰市宁城县道虎沟附近九龙山组的孢粉组合, 其组合以裸子植物两气囊类占优势为特征, 蕨类孢子稀少; 那玉玲等组合中裸子植物花粉含量约为 92.9%(本文 96.4%), 蕨类孢子含量约为 7.1%(本文 3.6%)。在裸子植物花粉中, *Alisporites* 的含量为 13.3%(本文 32%), *Callialasporites* 的含量小于 0.1%(本文 0.6%), *Classopollis* 含量为 10.1%(本文 12.5%); 蕨类孢子中, *Cyathidites* 的含量为 1.4%(本文 0.6%), *Deltoidospora* 的含量 0.6%(本文 1.2%)。那玉玲等根据同位素年龄将孢粉组合的时代定为中侏罗世、不晚于 Bathonian。但是, 从其孢粉组合与蒲荣干和吴洪章(1985)的组合差异明显、不能对比来看(见下文), 这一时代意见还有待推敲。从野外采样情况来看, 本文材料采自道虎沟化石层中叶肢介层之下约 10 m 处, 层位应与那玉玲等(Na *et al.*, 2015)的相当或略低。因此, 他们的孢粉组合的时代应与本文的大致相当。

蒲荣干和吴洪章(1985)介绍过朝阳良图沟小二十家子、北台子至拉马沟海房沟组的孢粉组合(原文作者称为 *Cyathidites-Asseretospora-Osmundacidites* 组合), 蕨类植物孢子在该组合中占优势(54.9%)、类型丰富, 其中以 *Cyathidites* 和 *Deltoidospora* 最丰富, 两者含量合计达 25%。裸子植

物花粉在组合中占 45.1%，其中两气囊类约占 36%，*Classopollis* 稀少，含量仅 3.3%。上述特征与本文柳树湾剖面海房沟组孢粉组合存在明显差异。尽管区域间沉积环境的差异是可能的影响因素，但两者之间时代的差异可能是根本原因：在中国北方中侏罗世的孢粉植物群中，松柏类两气囊花粉在早期要比晚期更欠发育，蒲荣干和吴洪章(1985)认为其海房沟组孢粉组合的时代为中侏罗世早期，从其实测剖面资料看，他们的样品采自剖面的第 6 层，属于海房沟组的中下部(蒲荣干和吴洪章, 1985; 王五力等, 1989)。因此，其化石产出层位可能比本文的要低，时代更老。当然，这一推测还需通过后续对相关剖面的研究加以验证。

4 古植被与古气候、古环境

表 2 概括了当前柳树湾海房沟组孢粉组合各组成的可能的母体植物及古气候特征。当前孢粉组合中占主导地位的是具气囊类花粉(表 1)。它们的母体植物都属于裸子植物松柏类或裸子类针叶植物，它们大多喜欢温凉、中生的气候条件(宋之琛, 2000;

Abbink *et al.*, 2004; Balme, 1995)。 *Classopollis* 是孢粉组合中除具气囊类之外最丰富的，其母体植物对应于裸子植物掌鳞杉科。通常认为 *Classopollis* 适宜于干旱气候或湿润气候下土壤基质排水性好的局部生态环境，其在孢粉组合中的大量出现可作为干旱气候的指示(Pocock & Jansonius, 1961; Vakhrameyev, 1982)，如在土城子组下段含量为 86.2% (蒲荣干和吴洪章, 1982)。当前孢粉组合中还见有一定数量的具沟类型花粉，包括 *Cycadopites*，它们与苏铁或本内苏铁类密切相关，适宜温暖、干燥的气候(Abbink *et al.*, 2004)。当前孢粉组合中还有一类较常见的花粉——无口器类 *Spheripollenites*。它也有一定的分异度和丰度，其母体植物可能是掌鳞杉科、杉科、红豆杉科或柏科(Couper, 1958)。这些植物生长于温暖、干旱的生态环境中。蕨类孢子在当前道虎沟孢粉组合中不仅类型稀少，而且总量也较低(仅为 3.6%)，由于绝大多数蕨类植物喜欢温暖湿润的气候条件，这表明中、晚侏罗世之交道虎沟地区的气候不利于这类植物繁荣，可能偏于干冷。董重等(2016)研究了道虎沟生物群中的大植物化石。根据他们的研究，道虎沟生物群中的大植物化

表 2 孢粉对应母体植物及其所指示的气候类型

Table 2 The botanical affinity of the pollen and spores and their related climate

孢粉属名	母体植物	气候
蕨类植物孢子 <i>Calamospora</i>	木贼目(4)	炎热、潮湿
<i>Concavisporites</i>	双扇蕨科或里白科(1)	温暖、干旱
<i>Cyathidites</i>	蚌壳蕨科/桫欏科/双扇蕨科/马通蕨(2, 4, 16)	温暖、潮湿
<i>Deltoidospora</i>	蚌壳蕨科/桫欏科/双扇蕨科/马通蕨(2, 4, 16)	温暖、潮湿
裸子植物花粉		
<i>Abietinaepollenites</i>	松科(1)	温暖、半干旱
<i>Alisporites</i>	种子蕨目(4, 6, 13, 14)/松科(11)	温暖、半干旱
<i>Callialasporites</i>	南洋杉科/罗汉松科(2, 3, 5)	温暖、半干旱
<i>Caytonipollenites</i>	开通科(1)	
<i>Cedripites</i>	松科(1, 4)	温暖、半干旱
<i>Cerebropollenites</i>	铁杉粉属?(1)	
<i>Chasmatosporites</i>	苏铁目?(12)	温暖、干燥
<i>Classopollis</i>	掌鳞杉科(4, 8, 13, 15)	炎热、干燥
<i>Cycadopites</i>	苏铁目/本内苏铁目/银杏目(2)	
<i>Eucommiidites</i>	本内苏铁目(9)	
<i>Pinuspollenites</i>	松科(1, 4)	温暖、半干旱
<i>Pseudopicea</i>	松柏类(1)	温暖、半干旱
<i>Podocarpidites</i>	罗汉松科(10)	温暖、半干旱
<i>Quadraeculina</i>	松科(1)	温暖、半干旱
<i>Spheripollenites</i>	柏科(7, 10)	凉爽、半湿润

注：括号中的数字代表文献来源，“?”表示尚有疑问。(1)宋之琛等, 2000; (2)Abbink *et al.*, 2004; (3) Archangelsky, 1994; (4) Balme, 1995; (5) Batten and Dutta, 1997; (6) Boulter and Windle, 1993; (7) Couper, 1958; (8) Doyle *et al.*, 1982; (9) Pedersen *et al.*, 1989; (10) Raine *et al.*, 2011; (11) Rouse, 1959; (12) Tralau, 1967; (13) Traverse, 2007; (14) Van Konijnenburg-Van Cittert, 1971; (15) Van Konijnenburg-van Cittert, 1987; (16) Van Konijnenburg-Van Cittert, 1993

石包括苔藓类、蕨类和裸子植物,未见确切的被子植物。其中,裸子植物化石占大部分,尤其是松柏类植物属种分异度高,这与本文孢粉组合所揭示的组合面貌相符。苔藓植物和蕨类植物中以真蕨类最常见,其它还包括藓类、有节类和石松类,与孢粉组合相比组成基本一致,本文孢粉材料中尚未记录到苔藓植物孢子,可能是孢粉和大植物搬运、埋藏的差异所致。总体来看,大植物和孢粉化石都比较一致地指示海房沟组道虎沟生物群发育时期区域植被是一种以各种裸子植物针叶林为主体的面貌,其间伴生有苏铁类、本内苏铁类和少量蕨类阔叶植物。根据这些植物的生长环境来看(表 2),研究区的总体气候条件比较温凉,降水中等(半湿润一半干旱)。

5 结 论

本文详细描述了内蒙古宁城道虎沟村柳树湾剖面海房沟组的孢粉组合并与前人记录进行了对比。这一组合以 *Alisporites*, *Pseudopicea* 和 *Quadraeculina* 等两气囊类裸子植物花粉占优势为特征,蕨类孢子的类型和丰度都很稀少, *Classopollis* 常见但不突出,其时代可能为中侏罗世晚期,但也可能至晚侏罗世早期。这一结论与同位素绝对年龄意见相吻合。孢粉组合与大植物化石的记录基本一致,它们指示内蒙古宁城道虎沟地区在中侏罗世晚期燕辽生物群发育时期的植被以裸子植物松柏类针叶林为主,是一种温凉、湿度中等的气候条件。

致谢 孢粉样品实验室分析由中国科学院南京地质古生物研究所冯立梅老师完成,在此一并感谢。

参考文献

- 王五力,郑少林,张立君等,1989. 辽宁西部中生代地层古生物(1). 北京:地质出版社. 1-168
- 王 原,2000. 早白垩世热河生物群一新的有尾两栖类. 古脊椎动物学报, **38**(2):100-103+161-164
- 刘兆生,1982. 内蒙古包头石拐煤田早、中侏罗世孢粉组合. 古生物学报, **21**(3):371-379
- 李建国,张前旗,2016. 9 孢粉化石. 见:黄迪颖(主编),道虎沟生物群. 上海:上海科学技术出版社. 303-308
- 宋之琛,2000. 第五章. 侏罗纪孢粉植物群. 见:宋之琛等(主编),中国孢粉化石. 第二卷. 中生代孢粉. 北京:科学出版社. 567-574
- 沈炎彬,陈丕基,黄迪颖,2003. 内蒙古宁城县道虎沟叶肢介化石群的时代. 地层学杂志, **27**(4):311-313+373
- 张俊峰,2002. 道虎沟生物群(前热河生物群)的发现及其地质时代. 地层学杂志, **26**(3):173-177+215-243
- 张望平,1989. 中国东部一些地区侏罗纪孢粉组合. 见:中国地质科

- 学院地层古生物论文集编委会(编),中国东部构造-岩浆演化及成矿规律(二),中国东部侏罗纪-白垩纪古生物及地层. 北京:地质出版社. 1-20
- 林妙琴,李建国,彭俊刚,2016. 辽西北票四合屯早白垩世土城子组三段孢粉组合及其意义. 微体古生物学报, **33**(3):261-271
- 季 强,袁崇喜,2002. 宁城中生代道虎沟生物群中两类具原始羽毛翼龙的发现及其地层学和生物学意义. 地质论评, **48**(2):221-224+226-228
- 季 强,陈 文,王五力等,2004. 中国辽西中生代热河生物群. 北京:地质出版社. 1-375
- 季 强,柳永清,陈 文等,2005. 再论道虎沟生物群的时代. 地质论评, **51**(6):609-612
- 姜宝玉,2006. 内蒙古宁城道虎沟地区中侏罗世非海相双壳类 *Ferganoconcha*. 古生物学报, **45**(2):259-264
- 柳永清,刘燕学,姬书安等,2006. 内蒙古宁城和辽西凌源热水汤地区道虎沟生物群与相关地层 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及有关问题的讨论. 科学通报, **51**(21):2273-2282
- 袁崇喜,张鸿斌,李 明等,2004. 内蒙古宁城道虎沟地区首次发现中侏罗世蝌蚪化石. 地质学报, **78**(2):145-148+289
- 洪友崇,1983. 北方中侏罗世昆虫化石. 北京:地质出版社. 1-223
- 徐钰林,张望平,1980. 侏罗纪孢子花粉. 见:中国地质科学院地质研究所(编),陕甘宁盆地中生代地层和古生物(上册). 北京:地质出版社. 144-186
- 黄迪颖(主编),2016. 道虎沟生物群. 上海:上海科学技术出版社. 1-332
- 董 重,杨小菊,周志炎,2016. 8 植物化石. 见:黄迪颖(主编),道虎沟生物群. 上海:上海科学技术出版社. 252-302
- 蒲荣干,吴洪章,1985. 辽宁西部中生界孢粉组合及其地层意义. 见:张立君,蒲荣干,吴洪章,辽宁西部中生代地层古生物(2). 北京:地质出版社. 121-122
- ABBINK O A, VAN KONIJNENBURG-VAN CITTERT J H A, VISSCHER H, 2004. A sporomorph ecogroup model for the Northwest European Jurassic-Lower Cretaceous: concepts and framework. Netherlands Journal of Geosciences, **83**(1): 17-31
- ARCHANGELSKY S, 1994. Comparative ultrastructure of three Early Cretaceous gymnosperm pollen grains: *Araucariacites*, *Balmeiopsis* and *Callialasporites*. Review of Paleobotany and Palynology, **83**: 185-198
- BALME B E, 1995. Fossil in situ spores and pollen grains: an annotated catalogue. Review of Paleobotany and Palynology, **87**: 81-323
- BATTEN D J, DUTTA R J, 1997. Ultrastructure of exine of gymnospermous pollen grains from Jurassic and basal Cretaceous deposits in northwest Europe and implications for botanical relationships. Review of Paleobotany and Palynology, **99**: 25-54
- BOULTER M C, WINDLE T, 1993. A reconstruction of some Middle Jurassic vegetation in northern Europe. Special papers in Palaeontology, **49**: 125-154
- BURGER D, 1977. Palynomorphs from Eromanga Basin Formation in QDM Aramac 1 Well. Queensland Government Mining Journal, **78**: 331-336
- COUPER R A, 1958. British Mesozoic microspores and pollen

- grains. A systematic and stratigraphic study. *Palaeontographica Abteilung B*, **103**: 75—179
- COURTINAT B, 1989. Les organoclastes des formations lithologiques du Malm dans le Jura méridional: systématique, biostratigraphie et éléments d'interprétation paléocéologique (Doctoral dissertation, Lyon 1). 1—362
- DONG Chong, YANG Xiaojun, ZHOU Zhiyan, 2016. 8 The plants. In: HUANG Diying (ed.), *The Daohugou Biota*. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers. 252—302 (in Chinese)
- DOYLE J A, JARDINE S, DOERENLAMP A, 1982. *Afropollis*, a new genus of early angiosperm pollen, with notes on the Cretaceous palynostratigraphy and paleoenvironments of northern Gondwana. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, **6**: 39—117
- GAO Keqin, SHUBIN N H, 2003. Earliest known crown-group salamanders. *Nature*, **422**: 424—428
- HE H Y, WANG X L, ZHOU Z H *et al.*, 2004. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of ignimbrite from Inner Mongolia, northeastern China, indicates a post-Middle Jurassic age for the overlying Daohugou Bed. *Geophysical Research Letters*, **31**(20). L20609
- HONG Youchong, 1983. Middle Jurassic fossil insects in northern China. Beijing: Geological Publishing House. 1—223 (in Chinese)
- HUANG Diying (ed.), 2016. *The Daohugou Biota*. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers. 1—332
- JI Qiang, YUAN Chongxi, 2002. Discovery of two kinds of proto-feathered pterosaurs in the Mesozoic Daohugou Biota in the Ningcheng region and its stratigraphic and biologic significances. *Geological Review*, **48**(2): 221—224 + 226—228 (in Chinese with English abstract)
- JI Qiang, CHEN Wen, WANG Wuli *et al.*, 2004. Mesozoic Jehol Biota of western Liaoning, China. Beijing: Geological Publishing House. 1—375 (in Chinese)
- JI Qiang, LIU Yongqing, CHEN Wen *et al.*, 2005. On the geological age of Daohugou Biota. *Geological Review*, **52**(6): 609—612 (in Chinese with English abstract)
- JI Qiang, LUO Zhexi, YUAN Chongxi *et al.*, 2006. A swimming mammaliaform from the Middle Jurassic and ecomorphological diversification of early mammals. *Science*, **311**: 1123—1127
- JIANG Baoyu, 2006. Non-marine *Ferganoconcha* (Bivalvia) from the Middle Jurassic in Daohugou area, Ningcheng County, Inner Mongolia, China. *Acta Palaeontologica Sinica*, **45**(2): 252—257 (in Chinese with English abstract)
- LI Jianguo, ZHANG Qianqi, 2016. 9 The pollen and spores. In: HUANG Diying (ed.), *The Daohugou Biota*. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers. 303—308 (in Chinese)
- LIN Miaojin, LI Jianguo, PENG Jungang, 2016. Early Cretaceous palynological assemblages from the third member of the Tuchengzi Formation at Sihetun, Beipiao County, western Liaoning Province, Northeast China and their implications. *Acta Palaeontologica Sinica*, **33**(3): 261—271 (in Chinese with English abstract)
- LIU Zhaosheng, 1982. Early and Middle Jurassic spore-pollen assemblages from the Shiguai coal-field of Baotou, Nei Monggol. *Acta Palaeontologica Sinica*, **21**(3): 371—379 (in Chinese with English abstract)
- LIU Yongqing, LIU Yanxue, JI Shuan *et al.*, 2006. U-Pb zircon age for the Daohugou Biota at Ningcheng of Inner Mongolia and comments on related issues. *Chinese Science Bulletin*, **51**(21): 2634—2644
- NA Y L, MANCHESTER S R, SUN C L *et al.*, 2015. The Middle Jurassic palynology of the Daohugou area, Inner Mongolia, China, and its implications for palaeobiology and palaeogeography. *Palynology*, **39**(2): 270—287
- PEDERSEN K R, CRANE P R, FRIIS E M, 1989. Pollen organs and seeds with *Eucommiidites* pollen. *Grana*, **28**(4): 279—294
- POCOCK S A J, JANSONIUS J, 1961. The pollen genus *Classopollis* Pflug 1953. *Micropaleontology*, **7**(4): 439—449
- PU Ronggan, WU Hongzhang, 1985. Mesozoic spore-pollen assemblages in western Liaoning and their stratigraphic significance. In: ZHANG Lijun, PU Ronggan, WU Hongzhang, *Mesozoic Stratigraphy and Palaeontology of western Liaoning*. Beijing: Geological Publishing House. 121—212 (in Chinese with English abstract)
- RAINE J I, MILDENHALL D C, KENNEDY E, 2011. New Zealand fossil spores and pollen: an illustrated catalogue. 4th edition. GNS Science Miscellaneous Series No. 4. <http://data.gns.cri.nz/sporepollen/index.htm>
- REN Dong, 2002. A new lacewing family (Neuroptera) from the Middle Jurassic of Inner Mongolia, China. *Insect Science*, **9**(4): 53—67 (in English)
- ROUSE G E, 1959. Plant microfossils from Kootenay coal-measures strata of British Columbia. *Micropaleontology*, **5**(3): 303—324
- SHEN Yanbin, CHEN Peiji, HUANG Diying, 2003. Age of the fossil conchostracans from Daohugou of Ningcheng, Inner Mongolia. *Journal of Stratigraphy*, **27**(4): 311—313 + 373 (in Chinese with English abstract)
- SONG Zhichen, 2000. Chapter 5. Jurassic palynofloral. In: SONG Zhichen, SHANG Yuke, LIU Zhaosheng *et al.* (eds.), *Fossil spores and pollen of China*. Vol. 2. The Mesozoic spores and pollen. Beijing: Science Press. 567—574 (in Chinese with English abstract)
- SULLIVAN C, WANG Y, HONE D W *et al.*, 2014. The vertebrates of the Jurassic Daohugou Biota of northeastern China. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **34**(2): 243—280
- TRALAU H, 1967. Some Middle Jurassic microspores of southern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, **89**: 469—472
- TRAVERSE A, 2007. *Paleopalynology*. 2nd edition. Dordrecht: Springer. 1—813
- VAKHRAMEYEV V A, 1982. *Classopollis* pollen as an indicator of Jurassic and Cretaceous climate. *International Geological Review*, **24**: 1190—1196
- VAN KONIJNENBURG-VAN CITTERT J H A, 1971. *In situ*

- gymnosperm pollen from the Middle Jurassic of Yorkshire. *Acta Botanica Neerlandica*, **20**: 1—97
- VAN KONIJNENBURG-VAN CITTERT J H A, 1987. New data on *Pagiophyllum maculosum* Kendall and its male cone from the Jurassic of north Yorkshire. *Review of Paleobotany and Palynology*, **51**: 95—105
- VAN KONIJNENBURG-VAN CITTERT J H A, 1993. A review of the Matoniaceae based on *in situ* spores. *Review of Paleobotany and Palynology*, **78**: 235—267
- WANG Yuan, 2000. A new salamander (Amphibian: Caudata) from the Early Cretaceous Jehol Biota. *Vertebrata Palasiatica*, **38** (2): 100—103 (in Chinese with English abstract)
- WANG Wuli, ZHENG Shaolin, ZHANG Lijun *et al.*, 1989. Mesozoic stratigraphy and palaeontology of western Liaoning, China (1). Beijing: Geological Publishing House. 1—168 (in Chinese with English abstract)
- XU Yulin, ZHANG Wangping, 1980. Jurassic spores and pollen. In: Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences (ed.), *Mesozoic Stratigraphy and Palaeontology of the Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin*, 1. Beijing: Geological Publishing House. 144—186 (in Chinese)
- YUAN Chongxi, ZHANG Hongbin, LI Ming *et al.*, 2004. Discovery of a Middle Jurassic fossil tadpole from Daohugou region, Ningcheng, Inner Mongolia, China. *Acta Geologica Sinica*, **78** (2): 145—148+289 (in Chinese with English abstract)
- ZHANG Junfeng, 2000. Discovery of Daohugou Biota (pre-Jehol Biota) with a discussion on its geological age. *Journal of Stratigraphy*, **26**(3): 173—177+215—243 (in Chinese with English abstract)
- ZHANG Wangping, 1989. Jurassic spore-pollen assemblages from some parts of eastern China. In: Stratigraphical Group, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences (ed.), *Tectonic-magmatic evolution and metallogeny of eastern China*. No. 2, The palaeontology and stratigraphy of the Jurassic and Cretaceous in eastern China. Beijing: Geological Publishing House. 1—20 (in Chinese with English abstract)

PALYNOLOGICAL ASSEMBLAGE OF THE MIDDLE-UPPER JURASSIC HAIFANGGOU FORMATION IN DAOHUGOU, NINGCHENG, INNER MONGOLIA, CHINA *

ZHANG Qianqi^{1,2)}, LI Jianguo¹⁾ and HUANG Diying³⁾

1) CAS Key Laboratory of Economic Stratigraphy and Palaeogeography, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences and Center for Excellence in Life and Palaeoenvironments, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008

2) University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3) State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences and Center for Excellence in Life and Palaeoenvironments, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008

Abstract In this paper, pollen and spores of the Haifanggou Formation in Daohugou, Ningcheng County, Inner Mongolia, China were studied. A total of 20 genera and 15 species were recorded. The palynoassemblage was characterized by abundant *Alisporites* and *Pseudopicea*, and common occurrence of *Quadraeculina*, *Podocarpidites* and *Classopollis*. A few bryophytic and pteridophytic spores were also encountered in small numbers. The pollen and spore assemblage suggests an age of the latest Middle Jurassic though possible extension to early Late Jurassic which cannot be completely excluded. The habitat of the main components of the assemblage was analyzed, implying that the Daohugou area was covered by conifer forests that were under temperate-cool, moderately humid conditions at that time.

Key words Palaeovegetation, Palaeoclimate, Haifanggou Formation, Middle Late Jurassic, Daohugou, Inner Mongolia Autonomous Region, China

* This research was supported by the National Key R & D Program of China (2016YFC0600406), the Strategic Priority Research Program (B) of Chinese Academy of Sciences (Grant No. XDB18000000) and NSFC (41688103).