

义县组研究的新认识

邢德和^{1,2)} 孙春林¹⁾ 孙跃武¹⁾ 张立东²⁾ 彭艳东²⁾ 陈树旺²⁾

1) 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春, 130061 2) 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳, 110033

摘要 辽西地区义县组是一套中生代陆相火山-沉积岩系, 主要由中-基性火山熔岩、火山碎屑岩及湖泊相(包含少量的河流相)沉积岩构成。依据火山活动的规律性, 将义县组划分为4个岩性段, 自下而上为: 底砾岩+基性-中基性火山岩段; 湖相沉积(或称珍稀化石层)岩+中性、酸性火山岩段; 基性、中基性-酸性、偏碱性火山岩段和砾岩(包括沉火山角砾岩)+中酸性、偏碱性火山岩段。义县组中包含6个化石层位, 其中义县组一段的底砾岩和基性、中基性火山岩的(沉)凝灰岩中产有丰富的以鹦鹉嘴龙为主的古脊椎动物化石; 二段的湖相沉积岩中含有大量热河生物群化石, 包括著名的中华龙鸟、孔子鸟和辽宁古果等珍稀化石, 是义县组的最主要化石产出层位, 且湖相化石层基本上为同一时期的产物。根据化石研究和同位素测定结果, 将义县组的时代定为早白垩世。

关键词 义县组 地层 时代 辽西

New Knowledge on Yixian Formation

XING Dehe^{1,2)} SUN Chunlin¹⁾ SUN Yuewu¹⁾ ZHANG Lidong²⁾ PENG Yandong²⁾ CHEN Shuwang²⁾

1) Institute of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin, 130061;

2) Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang, Liaoning, 110033

Abstract The Yixian Formation in western Liaoning Province comprises a set of Mesozoic continental volcanic-sedimentary rocks, which mainly consist of intermediate-basic volcanic lava, volcanic fragmental rock and lacustrine (including a little fluvatile) sedimentary rocks. The formation can be divided into four lithologic members based on the regularity of volcanic activity. From bottom to top, they are the first member—the basal conglomerate and basic to intermediate basic volcanic member, the second member—the lacustrine sedimentary rock (or called the rare fossil layer) and acid-intermediate volcanic lithologic member, the third member—the basic, intermediate-basic, meta-alkaline volcanic member, and the fourth member—the conglomerate (including sedimentary volcanic breccia) and acid-intermediate, meta-alkaline volcanic member. There are 6 fossil layers in Yixian Formation. The basal conglomerate and basic, intermediate-basic volcanic sedimentary tuff in the first member contains abundant ancient vertebra fossils dominated by Psittacosaurus. The lacustrine sedimentary rock in the second member contains a large number of Jehol Biota fossils including the famous Sinosauroptryx prima, Confuciusornis sauctus and Archaeofructus liaoningensis, thus serving as the chief fossils-bearing layer in Yixian Formation. Moreover, all the lacustrine fossil layers are synchronous. The age of Yixian Formation can be assigned to Early Cretaceous.

Key words Yixian Formation stratigraphy age Western Liaoning

辽西西部(简称辽西)是东亚地区中生代陆相地层发育极好的地区之一。自20世纪初美国地质学家葛利普(1923)提出热河系和热河动物群以来, 该地就一直中外学者研究的热点之一。近些年来, 在辽西义县组中发现了大量的以圣贤孔子鸟(*Confuciusornis sanctus* Hou et al.)为代表的早期鸟类(Hou, 1995)、小型兽脚类恐龙“原始中华龙鸟”(Sinosauroptryx prima Ji et Ji, 季强, 1996)和“弯

齿树翼龙”(*Dendrorhynchus curvidentatus* Ji et Ji) (季强, 1998)以及哺乳动物“五尖张和兽”(Zhangheterium quinquespidens Hu et al.)和被子植物“辽宁古果”(Archaeofructus liaoningensis Sun et al.) (Sun等, 1998)等化石。但长期以来, 对义县组地层的划分、对比及时代等问题一直存在争论。笔者通过此次区域地质调查工作, 对存在的问题进行了研究, 在此论述。

1 关于义县组的地层划分

义县组自建立(顾知微,1962)40多年以来,各位学者从不同角度对其划分提出了自己的见解。尤其是近年来的研究,尽管在义县组的含义方面趋于一致,但在其内部划分上分歧依然较大,其中较有代表性的有陈丕基等(1980)、王五力等(1989)、任东等(1997)等(表1)。笔者根据岩石地层划分原则,结合区域火山活动的规律性,将义县组自下而上划分为4个岩性段(图1)。

一段(K_1y^1)底部为底砾岩,与下伏地层角度不整合接触;上部由4个小火山旋回组成,岩性主要为基性-中基性火山熔岩、火山碎屑岩及爆发-沉积相岩石,如橄榄玄武岩、气孔状碧玄岩、气孔-杏仁状(玄武)安山岩及集块岩等,其中夹有3层含砾屑层凝灰岩、砂质凝灰岩和(沉)凝灰岩,产有大量的鸚鵡嘴龙化石。

二段(K_1y^2)下部为薄层状凝灰岩屑杂砂岩、薄板状钙泥质粉砂岩夹铁质胶结沉凝灰岩、灰岩透镜体等,产有双壳类、叶肢介、介形虫和拟蜉蝣等化石;中部为纹层状-页片状钙泥质页岩夹黄褐色晶屑凝灰岩、沉凝灰岩,发育大量的热河生物群化石,包括各种无脊椎动物、脊椎动物(如鱼类、龟类、恐龙类、鸟类和小型哺乳类等)和植物化石;上部为沉凝灰岩夹灰色砂质结晶灰岩透镜体、薄层状凝灰质粉砂岩、泥质粉砂岩和石英长石砂岩等,产辽宁古果等化石;

该段中下部夹有湖相玄武安山岩岩枕(张立东,2002),上部夹有流纹质角砾凝灰岩、凝灰角砾岩及(玄武)安山岩等。

三段(K_1y^3)多为次火山岩(橄榄玄武玢岩)侵位在一些火山机构中心,也有的呈溢流相橄榄玄武岩分别盖在第一和第二段的不同层位上,在义县盆地则发育粗安质凝灰角砾岩等。

四段(K_1y^4)底部为砾岩、砾质杂砂岩;中上部为中性火山岩,少量偏碱性火山岩和火山碎屑岩,夹有凝灰质粉砂岩、细砂岩和钙质泥页岩,产大量的鱼类等化石;顶部为流纹质沉火山角砾岩(即黄花山角砾岩)。

从上述划分中不难看出:本文与陈丕基等(1980)、王五力等(1989)、任东等(1997)等对义县组的划分方案,其含义是完全不同的。具体为:任东等所划分的一段仅代表本文一段的下部层位,其上部的火山岩段未加以具体说明;其二段的含义与本文也完全不同,由于在义县地区化石层(湖相沉积层)普遍存在“指状”分叉现象,所以其二段也仅为本文二段的一部分;其三段非义县组地层;其五段也仅是本文三段的一部分。陈丕基等(1980)、王五力等(1989)所划分的几个含化石沉积夹层,除金刚山层之外,应为同一时期沉积的产物,也均为本文的二段。

值得指出的是,关于义县组一段下部(相当底砾岩层),卢崇海(2000)、李有生等(2000)在建昌盆地

表1 辽西义县组岩石地层划分沿革表

Table 1 Evolution of the division of the Yixian Formation in western Liaoning, China

室井渡 (1940)	顾知微 (1962)	辽宁省地层表编写组 (1978)	米家榕等 (1980)	陈丕基等 (1980)	辽宁省地质矿产局 (1989)	王五力等 (1989)	任东等 (1997)	孙革等 (2001)	丁秋红等 (2001)	本文		
泥河子层 (J_2)	阜新统 沙海组 (J_3)	沙海组 (J_3)	九佛堂组下段 (J_3)	沙海组 (J_3)	九佛堂组 (J_3)			九佛堂组 (K_1)				
黄花山角砾岩(吐呼噜角砾岩) (J_2)	吐呼噜组 (J_3)	吐呼噜组 (J_3)		义县组 (J_3)	黄花山层	黄花山层	黄花山层	六段 J_3y^6	上部 (K_1)	黄花山层	六段 K_1y^4	
金刚山层 (J_2)	金刚山组 (J_3)	金刚山组 (J_3)			金刚山层	金刚山层	金刚山层			五段 J_3y^5		金刚山层
义县火山岩类	热河统 义县组 (J_3)	义县组 (J_3)			孙家梁组 (J_3)	火山岩	火山岩	火山岩	四段 J_3y^4	下部 (J_3y)	火山岩段 (J_3)	五段 K_1y^3
						大康堡层	大康堡层	大康堡层			二段 J_3y^2	
						火山岩	火山岩	火山岩	一段 J_3y^1	火山岩段 (J_3)		二段 K_1y^2
						上园层	上园层	上园层		尖山沟层	尖山沟层	
火山岩	火山岩	火山岩		尖山沟层	尖山沟层	尖山沟层	尖山沟组 (J_3)	中	二段 K_1y^2			
尖山沟层	尖山沟层	尖山沟层		尖山沟层	尖山沟层	尖山沟层	尖山沟组 (J_3)	下	一段 K_1y^1			
震旦纪砂质岩	万方数据				土城子组			一段	一段	一段 K_1y^1		

组段	岩性柱	厚度 /m	岩性描述	古生物特征
四		271	灰黄色凝灰质火山角砾岩	鱼: <i>Lycoptera muroii</i> 叶肢介: <i>Eosetheria jianshanensis</i> 昆虫: <i>Ephemeroptera trisetalis</i> 爬行类: <i>Manchurochelys Yabeinosaurus tenuis</i> 孢粉: <i>Cicatricosisporites-Foraminisporis</i> 组合 木化石: <i>Piceoxylon zaocishanense</i> <i>Protopodocarpoxyton jingangshanense</i>
		446	灰白、灰绿色凝灰质砂岩、砾岩、角砾岩夹泥质页岩 (金刚山层)	
段		13-61	灰、灰绿色杏仁状安山岩	
		108	灰、灰绿色杏仁状安山岩	
		300	浅灰绿色斜交层含砾中粒砂岩与细砂岩互层 灰色凝灰质含砾砂岩 (朱家沟层)	
三		30-97	灰黑色橄欖玄武岩	
		>15	灰黑色橄欖玄武岩	
二		<100	酸性、偏碱性火山岩	
		200	灰褐色、灰绿色安山岩	
县		300	灰褐色、灰绿色安山岩	
		20	上部灰白色沉凝灰岩、灰绿色薄层状凝灰质粉砂岩夹凝灰质岩屑杂砂岩 中部灰色-灰白色纹层状-页片状钙质泥质页岩夹黄褐色晶屑凝灰岩、沉凝灰岩 下部黄绿色薄层状细粒凝灰质岩屑杂砂岩、灰色薄层状钙泥质粉砂岩夹黄褐色铁质胶结沉凝灰岩 (湖相沉积化石层)	被子植物: <i>Archaeofructus liaoningensis</i> 孢粉: <i>Cicatricosisporites-Densoisporites-Jugella</i> 组合 爬行类: <i>Sinosauropteryxprima Dendrophynchus curvidentatus Sinohydrasaurus Psittacosaurus sp.</i> 哺乳类: <i>Zhanghetherium quiniquespiden</i> 鱼: <i>Lycoptera muroii</i>
		150	同上	
	120	上部灰黄色、黄绿色及灰色杏仁状玄武岩和灰色安山玄武岩 下部含辉石橄欖玄武岩		
组		4-5	紫红色微薄-薄层状泥质粉砂岩, (沉)凝灰岩黄褐色微薄层细粒凝灰质岩屑长石杂砂岩	<i>Psittacosaurus sp.</i>
		50-60	灰色、黄灰色杏仁状玄武岩, 底部见安山质集块岩	
		2-3	黄绿色薄层状含砾中粗粒岩屑杂砂岩, (沉)凝灰岩, 底部有近20cm厚的砾岩层	<i>Psittacosaurus sp.</i>
		60-70	灰色、灰黑色致密块状辉石橄欖玄武岩 灰紫色气孔状安山岩	
		2-10	黄绿色薄层状含砾中粗粒岩屑凝灰岩, 局部夹薄层状岩屑杂砂岩	<i>Sinovenator changii</i>
		90 100	灰黄色气孔杏仁状玄武安山岩、灰黑色橄欖玄武岩	
段		10-20	灰色中厚层状凝灰质胶结复成分砾岩	<i>Psittacosaurus sp.</i>

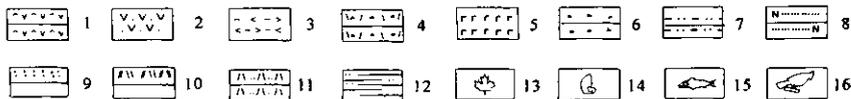


图 1 义县组综合地层柱状图

Fig.2 Composite stratigraphic column of the Yixian Formation

- 1-中基性火山岩 2-安山岩 3-酸性火山岩 4-凝灰火山角砾岩 5-橄欖玄武岩 6-角砾岩 7-泥质粉砂岩 8-杂砂岩 9-复成分砾岩;
 10(沉)凝灰岩 ;11-凝灰质粉砂岩 ;12-泥质页岩 ;13-植物化石 ;14-动物化石 ;15-鱼化石 ;16-鸟化石
 1-intermediate-basic volcanic rock 2-andesite 3-acidic volcanic rocks 4-tuffaceous volcanic breccia 5-olivine basalt 6-breccia 7-mud silstone ;
 8-graywacke 9-polymictic conglomerate ;10-tuffite ;11-tuffaceous silstone ;12-mud shale ;13-plant fossil ;14-animal fossil ;
 15-fish fossil ;16-bird fossil

先后建立了要路沟组和魏家岭组,但笔者根据综合分析(地层、岩石及古生物学),认为它们应与金羊盆地义县组的底砾岩层相当,只是厚度较大而已。

2 关于义县组的化石产出层位

通过此次综合研究表明,义县组化石产出层位

十分丰富,共有6个层位。自下而上为:

(1)义县组一段的底砾岩层(局部顶部可见沉凝灰岩,产有鸚鵡嘴龙化石)中含有大量动物化石,如双壳类、腹足类等;另含有少量的植物(硅化木)化石,在其爆发-沉积岩相的(沉)凝灰岩中产有大量鸚鵡嘴龙化石(3层);这些化石主要见于金-羊盆地内。而所谓的老公沟层、创业南沟层是义县组一段的2个重要化石层位,这2个层位可能与金-羊盆地第三、第四鸚鵡嘴龙化石层位相当,主要见于义县盆地。

(2)义县组二段是该区内最重要的化石产出层位,近几年的重大发现均产于此。

(3)义县组四段的金刚山层也是义县组重要的化石产出层位之一,主要产鱼类化石。

需要加以说明的是,关于义县组二段的化石层位,各位学者存在着不同的看法。如人们广泛使用的沉积层有:“尖山沟含化石沉积岩夹层”、“上园含化石沉积岩夹层”、“大康堡含化石沉积岩夹层”和“金刚山含化石沉积岩夹层”(陈丕基,1980);“刀把子层”(相当于尖山沟、金家沟等层)、“砖城子层”(相当于上园、大康堡、李家沟、河夹心等层;王五力,1989)。特别是近几年来,一些研究者认为应重新建立“四合屯组”、“炒米甸子组”或“尖山沟组”(孙革,

2001)。根据此次区域地质调查,表明义县组二段在区域内广泛零星分布,但厚度、岩性差异较大。从化石的总体面貌来看,这些沉积层为同一时期不同湖泊的沉积产物,形成时间大致相同。

3 关于义县组的时代

义县组的时代归属目前主要有3种观点:①属于晚侏罗世(任东等,1997;王五力等,1989;王思恩,1990;罗清华等,1999);②属于早白垩世(王东方等,1984;朱日祥等,2002;王松山等,2001a,2001b;Smith等,1995;Swisher等,1998,2001);③晚侏罗世—早白垩世(孙革等,2000;季强等,1999;Chen等,1998)。

笔者对义县、北票地区义县组火山沉积岩系,尤其对含化石的沉积层进行了深入细致的野外调查和室内研究工作,综合研究表明,义县组的时代应为早白垩世。其理由如下:

(1)义县组普遍与下伏地层存在角度不整合,在其一段底砾岩及(沉)凝灰岩夹层中发育有鸚鵡嘴龙化石(徐星,1998)。

(2)二段的化石组合总体以白垩纪成分为主。

(3)根据同位素各种测年的结果(表2、表3),在北票上园新开岭一带义县组一段的橄欖玄武玢岩两

表2 义县组火山岩 K-Ar 年龄测定结果

Table 2 K-Ar dating of volcanic rocks of the Yixian Formation

样品	K/%	⁴⁰ Ar/%	⁴⁰ Ar	³⁸ Ar	⁴⁰ Ar/ ³⁸ Ar	³⁸ Ar/ ³⁶ Ar	表面年龄/Ma	备注
SHT-1	2.17	96.75	4.837	1.906	113.84	74.34	124.16 ± 2	引自朱日祥
SHT-3	2.185	96.44	4.881	1.908	135.83	56.03	124.42 ± 2	引自朱日祥
SHT-11	2.10	98.42	4.710	1.904	97.41	180.0	124.91 ± 2	引自朱日祥
SHT-17	1.46	97.10	3.502	-	-	-	133.28 ± 2	平均年龄
		96.75	3.498	-	-	-	133.12 ± 2	133.20 ± 0.11
SHT-18	1.50	96.81	3.607	-	-	-	133.59 ± 2	平均年龄
		97.07	3.60	-	-	-	133.33 ± 2	133.46 ± 0.18

注 SHT-17、18 为项目与中国科学院朱日祥合作取样,测试单位为地震局地质研究所 2001;⁴⁰Ar 经校正后样品,由⁴⁰K 生成的放射成因氩。

表3 义县旋回火山岩激光微区⁴⁰Ar/³⁹Ar 法年龄测定结果

Table 3 Laser ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of volcanic rocks of the Yixian Formation

样品	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	³⁹ Ar/×10 ⁻¹⁴ mol	⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar	等时线年龄/Ma	坪年龄/Ma
Svn2Tw4	8.8310	0.013299	0.5891	5.763	4.9161	132.9 ± 1	-
Syp9TW12	5.5481	0.003656	1.1199	5.8641	4.5311	127.4 ± 1	-
1274TW	6.3135	0.005813	0.7453	5.404	4.6465	126.1 ± 1	-
Syp3TW20	6.38105	0.00656	0.58423	1130.71	4.4797	126.01 ±	130.6
Syp2TW13	6.3569	0.00641	0.54505	976.88	4.4958	123.48	127.6

注 Syp2TW4、Syp9TW12、1274TW 由中国地质科学院地质研究所测试(2001);Syp3TW20、Syp2TW13 由地质矿产部天津地质研究所测试(2002),除年龄值外,其他数据为样品激光点或计算坪年龄温度所对应测试值的平均值。_m为当 t 为零时,氩同位素离子流测定值;×10⁻¹⁴mol 为数据浓度数量级及单次测定的精密性;⁴⁰Ar* 为校正值与测定值之比。

个样品, SHT-17 的表面年龄为 133.28 ± 2.55 Ma 和 133.12 ± 2.56 Ma, 统计权重平均年龄为 133.20 ± 0.11 Ma; SHT-18 的表面年龄为 133.59 ± 2.56 Ma 和 133.33 ± 2.55 Ma, 统计权重平均年龄为 133.46 ± 0.18 Ma。在上园四合屯北部, 同期次的橄榄玄武岩样品(Syp2TW4), 5 个激光点的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄结果为 132.9 ± 1.5 Ma。在后燕子沟附近, 义县组一段上部的橄榄碧玄玢岩样品(Syp3TW20) 坪年龄为 130.6 ± 0.5 Ma, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄结果为 126.01 ± 1.8 Ma; 橄榄玄武岩样品(Syp2TW13) 坪年龄为 127.7 Ma (124.6 ± 0.2 Ma), $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄为 123.48 ± 4.08 Ma。义县组二段含化石的湖相沉积层中夹湖相枕状熔岩(橄榄玄武岩) 全岩样品(1274W), 该样品 5 个激光点的等时线年龄结果为 126.1 ± 1.7 Ma; 在黄半吉沟珍稀化石层(上部层位) 采集流纹质凝灰岩全岩样品(Syp9W12), 该样品 5 个激光点的等时线年龄结果为 127.4 ± 1.3 Ma。在四合屯北部, 采集义县组三段的橄榄玄武岩样品 SHT-1、SHT-3、SHT-11, 表面年龄分别为 124.16 ± 2.4 Ma、 124.42 ± 2.4 Ma 和 124.91 ± 2.4 Ma。由此可见, 义县组火山活动时间大约在 $135 \sim 120$ Ma 之间。

(4) 孙知明等(2002)、王东方等(1982)对磁性地层研究表明, 义县组均属早白垩世(早期), 与上述的同位素年龄相吻合。

4 结论

义县组总体可划分为 4 个岩性段。一段: 底砾岩-基性、中基性火山岩段; 二段: 湖相沉积岩 + 基性、酸性火山岩段; 三段: 基性、中基性-酸性、偏碱性火山岩段; 四段: 砾岩(包括沉火山角砾岩) + 中酸性、偏碱性火山岩段。该组中包含 6 个化石层位, 其中二段的湖相沉积层最为重要。义县组的时代应为早白垩世。

参考文献

- 陈丕基, 文世宣, 周志炎等. 1980. 辽宁西部中生代陆相地层的研究. 中国科学院南京地质古生物研究所丛刊, (1): 22~55.
- 丁秋红, 张立东, 郭胜哲等. 2001. 辽西北票地区义县组地层层序及化石层位. 地质与资源, 10(4): 193~198.
- 季强, 姬书安. 1996. 中国最早鸟类化石的发现及鸟类的起源. 中国地质, 10: 30~33.
- 季强, 姬书安. 1998. 记辽宁一新翼龙化石(喙嘴龙亚目). 江苏地质, 2(4): 199~206.
- 季强, 姬书安, 任东等. 1999. 论辽西北票四合屯-尖山沟一带含原始鸟类地层的层序及时代. 中国地质科学院地层古生物论文集编辑委员会. 地层古生物论文集(第 27 卷). 北京: 地质出版社, 74~79.
- 顾知微. 1962. 中国的侏罗系和白垩系. 北京: 科学出版社, 1~84.
- 辽宁省区域地层表编写组. 1978. 东北地区区域地层表辽宁省分册. 北京: 地质出版社, 100~145.
- 罗清华, 陈丕基, 郭集羽等. 1999. 中华鸟龙与孔子鸟类的时代

- 辽西义县组火山凝灰岩激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定. 地球化学, 28(4): 405~409.
- 卢崇海. 2000. 义县组时代及解体. 辽宁地质, 17(1): 51~55.
- 李有生, 孙灵全, 董国义. 2000. 辽西晚侏罗世魏家岭组的建立及其意义. 辽宁地质, 17(4): 280~283.
- 辽宁省地质矿产局. 1989. 辽宁省区域地质志. 北京: 地质出版社, 252~280.
- 米家榕, 徐开志, 张川波等. 1980. 辽宁北票附近中生代地层. 长春地质学院学报, (1): 1~31.
- 任东, 郭子光, 卢立伍等. 1997. 辽宁西部上侏罗统义县组研究新认识. 地质论评, 43(5): 449~460.
- Swisher III C C, 汪筱林, 周忠和等. 2001. 义县组同位素年代新证据及土城子组 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定. 科学通报, 46(23): 2009~2012.
- 孙知明, 许坤, 马醒华等. 2002. 辽西朝阳地区含鸟化石层附近侏罗-白垩系磁性地层研究. 地质学报, 76(3): 317~324.
- 孙革, 郑少林, 迪尔切 D 等. 2001. 辽西早期被子植物及其伴生植物群. 上海: 上海教育出版社.
- 室井渡. 1940. 阜新炭田. 满洲地质见学旅行案内书第二班阜新、凌源方面. 满洲地质协会, 33~55.
- 王东方, 高荣繁等. 1982. 辽宁地区白垩系底界和第三纪底界古地磁测定. 辽宁地质学报(1): 116~121.
- 王东方, 刁乃昌. 1984. 辽西侏罗-白垩纪火山岩系统的同位素年龄测定. 地质矿产部. 国际交流地质学术论文集(1). 北京: 地质出版社, 1~12.
- 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, 1~158.
- 王思恩. 1990. 热河动物群的起源、演化与机制. 地质学报, 64(4): 350~360.
- 王松山, 王元青, 胡华光等. 2001a. 辽西四合屯脊椎动物生存时代: 锆石 U-Pb 年龄证据. 科学通报, 46(4): 330~333.
- 王松山, 胡华光, 李佩贤等. 2001b. 再论辽西四合屯脊椎动物生存时代: Ar-Ar 年龄证据. 岩石学报, 17(4): 663~668.
- 徐星, 汪筱林. 1998. 辽西义县组鸢嘴龙(鸟臀类, 角龙亚目)新材料及其地层学意义. 古脊椎动物学报, 36(2): 147~158.
- 朱日祥, 邵济安, 潘永信等. 2002. 辽西白垩纪火山岩古地磁测定与陆内旋转运动. 科学通报, 47(17): 1335~1340.
- 张立东, 郭胜哲等. 2002. 辽宁西部义县组湖相枕状熔岩的发现及其意义. 地球学报, 23(6): 491~494.

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Liaoning Province (BGM-RLP), 1989. Regional geology of Liaoning province. Geol. Mem., 14. Beijing: Geol. Publ. House, 252~280 (in Chinese).
- Chen Peiji, Wen Shixuan, Zhou Zhiyan et al. 1980. Studies on the Late Mesozoic continental formations of western Liaoning. Bull. Nanjing Inst. Geol. Palaeont., Acad. Sin., 1: 22~55 (in Chinese).
- Chen P J, Dong Z M, Zhen S N. 1998. An exceptionally well-preserved theropod dinosaur from the Yixian Formation of China. Nature, 391(6663): 147~152.
- Ding Qihong, Zhang Lidong, Guo Shengzhe et al. 2001. The stratigraphic sequence and fossil-bearing horizon of the Yixian Formation in western Liaoning. Geol. Resour., 10(4): 193~198 (in Chinese with English abstract).
- Editorial Team of Regional Stratigraphy of Liaoning Province. 1978. Regional stratigraphy of Northeast China. Liaoning province. Beijing: Geol. Publ. House, 100~145 (in Chinese).
- Gu Zhiwei. 1962. The Jurassic and Cretaceous of China. Beijing: Science Press, 1~84 (in Chinese).
- Grabau A W., 1923. Cretaceous mollusca from North China. Bull. Surv. China. (5): 179~183.
- Sun Ge, Dilcher David L, Zheng Shaoling et al. 1998. In search of the

- first flower : a Jurassic Angiosperm , *Archaeofructus* , from Northeast China. *Science* , 27 : 1601 ~ 1772.
- Hou Lianhai , Zhou Zhonghe et al. 1995. A beaked bird from the Jurassic of China. *Nature* , 377(6550) : 616 ~ 618.
- Ji Qiang , Ji Shuan. 1996. On discovery of the earliest bird fossil in China and the origin of the birds. *Chin. Geol.* , 233 : 30 ~ 33 (in Chinese with English abstract).
- Ji Qiang , Ji Shuan. 1998. A new fossil pterosaur(*Rhamphorhynchoides*) from Liaoning. *Jiangsu Geology* , 22(4) : 199 ~ 206 (in Chinese with English abstract).
- Ji Qiang , Ji Shuan , Ren Dong et al. 1999. On the sequence and age of the Protobird-bearing deposits in Shihetun-Jianshangou area , Beipiao , western Liaoning province. *Prof. Pap. Stratigr. Palaeont.* , 27 : 74 ~ 86 (in Chinese with English abstract).
- Lou Chinghua , Chen Piji , Tsou Tunget et al. 1999. Age of *Sinosauropteryx* and *Confuciusornis*-⁴⁰Ar/³⁹Ar laser. Single-grain and K-Ar dating of the Yixian Formation , NE China. *Geochimica* , 28(4) : 405 ~ 409 (in Chinese with English abstract).
- Lu Chonghai. 2000. The age and disintegration of Yixian Formation. *Liaoning Geology* , 17(1) : 51 ~ 55 (in Chinese with English abstract).
- Li Yousheng Sun Lingquan , Dong Guoyi. 2000. Establishment of Weijialing Formation of Late Jurassic in West Liaoning and its significance. *Liaoning Geology* , 17(4) : 280 ~ 283 (in Chinese with English abstract).
- Mi Jiarong , Xu Kaizhi , Zhang Chuanpo et al. 1980. Mesozoic strata of beipiao district , Liaoning. *Jour. Changchun Geol. Inst.* , (4) : 1 ~ 31 (in Chinese).
- Ren Dong , Guo Ziguang , Lu Liwu et al. 1997. A further contribution to the knowledge of the upper Jurassic Yixian Formation in western Liaoning. *Geol. Review* , (5) : 449 ~ 460 (in Chinese with English abstract).
- Sun G , Dilcher D , Zheng S L et al. 1998. In search of the first flower : a Jurassic angiosperm , *Archaeofructus* , from Northeast China. *Science* , 282 : 1692 ~ 1695.
- Sun Ge , Zheng Shaolin , Dilcher D et al. 2001. Early angiosperms and their associated plants from western Liaoning , China. *Shanghai Sci. & Techn. Edu. Publ. House* , 1 ~ 227 (in Chinese with English abstract).
- Smith P E , Evensen N M , York D et al. 1995. Dates and rates in ancient lakes ⁴⁰Ar/³⁹Ar evidence for the early Cretaceous age for the Jehol Group , Northeast China. *Can J Earth Sci.* , 32(9) : 1426 ~ 1431.
- Swisher III C C , Wang Y Q , Wang X L et al. 2001. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Lower Yixian Formation Liaoning Province , Northeastern China. *Chinese Sci Bull* , 43(Sup.) : 125.
- Swisher III C C , Wang Xiaolin , Zhou Zhonghe et al. 2001. Further support for a Cretaceous age for the feathered-dinosaur beds of Liaoning China : New ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Yixian and Tuchengzi Formation. *Chinese Sci. Bull.* , 47(2) : 135 ~ 138. (in Chinese with English abstract).
- Sun Zhiming , Xu Kun , Ma Xinghua et al. 2002. Magnetostratigraphy of the Jurassic-Cretaceous boundary near bird-bearing beds in western Liaoning. *Acta Geologica Sinica* , 76(3) : 317 ~ 324 (in Chinese with English abstract).
- Wang Dongfang , Gao Rongfan , Wang Jiyuan et al. 1982. Paleomagnetic determination for the bottoms of early Cretaceous and Palaeogene in Liaoning. *Geologica Sinica Liaoning Province* , (1) : 116 ~ 121 (in Chinese).
- Wang Dongfang , Diao Naichang. 1984. Geochronology of Jurassic-Cretaceous volcanics in western Liaoning province , China. *Ministry of Geology and Mineral Resources. Scientific Papers on Geology for International Exchange* (1). Beijing : Geological Publishing House , 1 ~ 12 (in Chinese).
- Wang Wuli , Zheng Shaolin , Zhang Lijun et al. 1989. Mesozoic stratigraphy and palaeontology of western Liaoning , Part I. Beijing : Geological Publishing House , 1 ~ 158 (in Chinese).
- Wang Sien. 1990. Origin , evolution and mechanism of the Jehol fauna. *Acta Geologica Sinica* , 350 ~ 360 (in Chinese).
- Wang Songshan , Wang Yuanqing , Hu Huaguang et al. 2001. The existing time of Sihetun vertebrate in western Liaoning , China : evidence from U-Pb dating of zircon. *Chinese Sci. Bull.* , 46(4) : 330 ~ 333 (in Chinese with English abstract).
- Wang Songshan , Hu Huaguang , Li Peixian et al. 2001. Further discussion on the geologic age of Sihetun vertebrate assemblage in western Liaoning , China : Evidence from Ar-Ar dating. *Acta Petrol. Sinica.* , 17(4) : 663 ~ 668 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xing , Wang Xiaolin. 1998. New Psittacosaur(*Ornithischia* , *Ceratopsia*) occurrence from the Yixian Formation of Liaoning , China and its stratigraphical significance. *Vertebrata Palasiatica* , 36(2) : 147 ~ 158 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Rixiang , Shao Jian , Pan Yongxin et al. 2002. Paleomagnetic data from early Cretaceous volcanic rocks of western Liaoning : Evidence for intracontinental rotation. *Chinese Sci. Bull.* , 47(17) : 1335 ~ 1340 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lidong , Guo Shengzhe et al. 2002. The discovery of pillow lavas in Yixian Formation , Western Liaoning , and its significance. *Acta Geoscientia Sinica* , 23(6) : 491 ~ 494 (in Chinese with English abstract).
- Murai W , 1940. Fuxin coalmine. *Geol. Society of Manchurian* , 33 ~ 55.