第 92 卷　第 2 期
2018年2月　197～214

地　质　学　报　ACTA GEOLOGICA SINICA

Vol. 92 No. 2 2018
Feb. 197～214

大兴安岭中段龙江盆地热河生物群化石组合及生存时限
——来自生物地层、年代地层新证据

张渝金[1,2)]，杨雅军[2)]，蔡闱[3)]，吴新伟[1,2)]，张超[1,2)]，郭威[2)]

1）吉林大学地球科学学院，长春，130061；2）中国地质调查局沈阳地质调查中心，沈阳，110032；
3）纽约州立大学石溪分校，纽约长岛，11794

内容提要：龙江盆地光华组层型剖面出露完整，沉积连续，含丰富的热河生物群化石，是大兴安岭中段研究热河生物群起源、演化及辐射的重点剖面之一。本文对光华组层型剖面进行了重新精细测制，认为光华组整合于龙江组安山质角砾熔结凝灰岩之上，被甘河组玄武岩局部不整合覆盖，自下而上可识别出下、中、上 3 个岩性段；对该组所产动植物化石进行了系统的采集和鉴定，丰富了大兴安岭中段热河生物群的生物类别，并依据新采集化石和前人资料，尝试建立了叶肢介、介形虫、植物化石、昆虫等组合，探讨了各生物组合特征。根据对光华组剖面中段顶底岩层进行了 LA-ICP-MS U-Pb 锆石年代学研究，揭示龙江盆地热河生物生存的时代为 125.4±1.4Ma 至 120.1±1.1Ma，大致跨越 500 万年，反映龙江盆地热河生物群繁盛于从阿普特期早期至阿普特期中期。结合古生物特点和笔者前期研究成果，认为龙江盆地热河生物群生存的古环境可能是间歇性或季节性的湖泊；古气候应处于温暖湿润的季节性变化的暖温带，并伴有短暂的半干旱气候。

关键词：热河生物群；生物地层；年代地层；龙江盆地；大兴安岭中段

龙江盆地位于大兴安岭中段东坡，松辽盆地西缘，为一个 NEE 向的中生代断陷盆地（Li Yongfei et al.，2013；Chen Shuwang et al.，2013）（见图 1a，b），长 110 km，平均宽 25 km，最深处 3 km，面积约 1692 km²❶。盆地内中生代地层比较发育，龙江组和光华组均在本研究区建组（BGMRHP，1993），而且光华组中段产丰富的热河生物群动植物化石。前人对该地区的热河生物群化石虽有介绍（Ding Qiuhong et al.，2014；Zhang Yujin et al.，2016），但缺少系统的总结报道，对生物群的生态环境、生存时限也鲜有报道。本次工作笔者对光华组层型剖面进行了重新测制，对该组所产动植物化石进行了系统的采集、鉴定，并修正了部分化石组合，进而丰富了大兴安岭中段热河生物群的生物类别，同时对光华组中段含化石层进行了 U-Pb 同位素年代学研究。因此，本文旨在综合报道龙江地区的热河生物群化石组合特征及其时代，并探讨其生存时限及生存的古环境和古气候。

1　区域地质概况

盆地内出露的中生代地层自下而上为中侏罗统万宝组，下白垩统龙江组、光华组和甘河组。万宝组由砂砾岩和火山碎屑岩夹煤层组成；龙江组主要由中性熔岩夹碎屑岩和薄层酸性熔岩组成；光华组主要为火山碎屑岩、凝灰质泥岩及流纹岩；甘河组主要为中、基性火山岩。

研究区主要含热河生物群化石的层位为下白垩统光华组，该组由黑龙江省区调队（1972）❷在 1/20 万的扎赉特旗幅中建立的“中兴安岭火山岩组”和“上兴安岭火山岩组”中的“上兴安岭火山岩组”沿革而来。1974 年，王五力提议将“中兴安岭火山岩组”和“上兴安岭火山岩组”合并为龙江组，其后黑龙江省区域地质志编写组（BGMRHP，1993）把龙江组的含义修订为仅相当于原来的“中兴安岭火山岩组”，且将其上的“上兴安岭火山岩组”改建为光华组。黑龙江省地矿局（BGMRHP，1997）沿用了黑龙江省地质志的

注：本文为中国地质调查局项目（编号 DD20160048-04、12120113053900、DD121201102000150012-17、DD20160345-17）和国家自然科学青年基金项目（编号 41702032）联合资助的成果。

收稿日期：2017-10-22；改回日期：2017-11-09；责任编辑：黄敏。

作者简介：张渝金，男，1984 年生。高级工程师，博士研究生，主要从事地层学和古生物学、沉积环境等研究。通讯地址：辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号，Email：syzhangyujin@163.com。

划分方案，并指定龙江县山泉镇光华大队剖面（P19剖面）的下部加上邵家窝棚剖面（P16剖面）的上部作为龙江组的正层型，而将光华大队剖面（P19剖面）的上部指定为光华组的正层型，并定义为分布于大兴安岭地区的一套酸性凝灰岩、中性熔岩夹黏土岩、杂砂岩等组合，含热河生物群化石，与下伏龙江组呈不整合接触关系，顶界不清。Ding Qiuhong et al.（2014）认为光华组还是应为龙江组的上段，将其划归为龙江组（见表1），即广义的龙江组。

本次工作对光华组层型剖面进行了重新精细测制，其剖面位于黑龙江省龙江县山泉镇光华村至蛤蟆坑一带（见图1c），起点坐标：122°55′19″，47°14′36″；终点坐标：122°58′12″，47°13′18″。笔者在光华组剖面上系统采集了岩石、古生物、岩石地球化学和同位素等样品，并开展了岩石地层、生物地层、同位素年代等多重地层划分与对比研究工作（Zhang Yujin et al.，2016，2017）。本次研究的动植物大化石大部分采自于层型剖面的第32、33、35、40、41、43、45、46、47、49层（见图2），少量采自合心村附近。Zhang Yujin et al.（2016）重点描述了光华组地层层序，认为光华组整合于龙江组安山质角砾熔结凝灰岩之上，被甘河组灰黑色玄武岩局部不整合覆盖。本文根据岩石组合和古生物分布特点将光华组划分出3个岩性段（见表2），为一套灰绿—黄绿色凝灰质长石岩屑砂岩、凝灰质砂砾岩等粗碎屑岩组合，含少量植物化石碎片；中段为一套灰黑—青灰色泥岩、凝灰质泥岩、凝灰质粉砂岩、细砂岩等细碎屑岩组合，含丰富热河生物群动植物化石；上段为一套灰绿—灰紫色流纹岩、流纹质凝灰岩、凝灰质砂砾岩等火山碎屑岩夹沉积岩组合，含少量叶

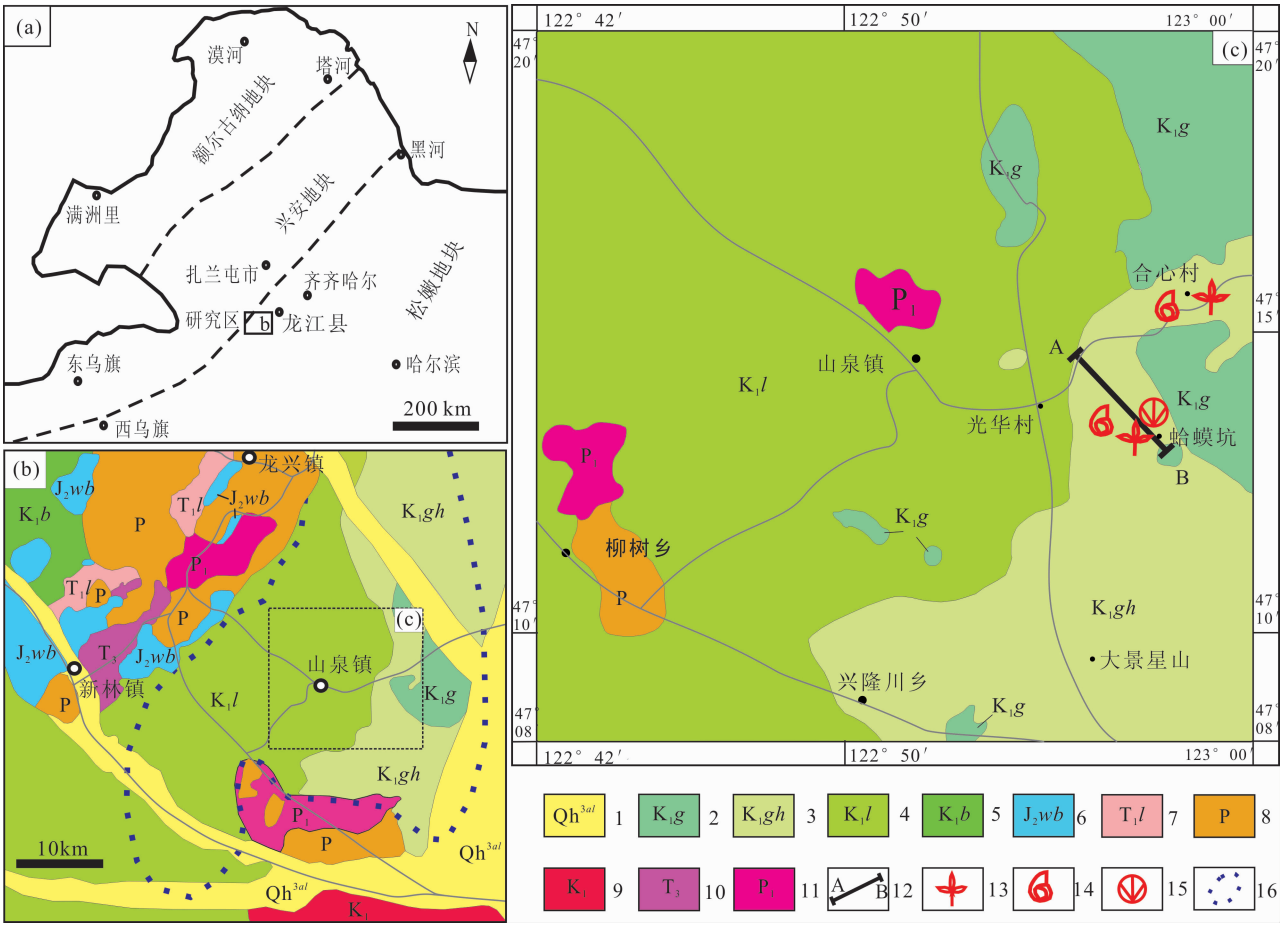


图1 龙江盆地大地构造位置及地质简图

Fig. 1 Tectonic settingand geological simplified diagram of Longjiang basin

1—第四系；2—甘河组；3—光华组；4—龙江组；5—白音高老组；6—万宝组；7—老龙头组；8—晚古生代地层；9—早白垩世岩体；10—晚三叠世岩体；11—早二叠世岩体；12—剖面位置；13—植物化石；14—动物化石；15—同位素采样位置；16—推测盆地界线

1—Quaternary; 2—Ganhe Formation; 3—Guanghua Formation; 4—Longjiang Formation; 5—Baiyingaolao Formation; 6—Wanbao Formation; 7—Laolongtou Formation; 8—Late Paleozoic strata; 9—Early Cretaceous rock; 10—Late Triassic rock; 11—Early Permian rock; 12—profile location; 13—fossil plants; 14—animal fossils; 15—isotope sampling location; 16—speculate basin boundaries

表 1　龙江盆地光华组划分沿革

Table 1　Historical review of Guanghua Formation in Longjiang basin

1∶20 万扎赉特旗幅❷(1972)		黑龙江省岩石地层(1997)		丁秋红(2014)		本文		
		下白垩统	甘河组(K_1g)	下白垩统	甘河组(K_1g)(含九峰山组)	下白垩统	甘河组(K_1g)	
上侏罗统	上兴安岭火山岩组(J_3s)		光华组(K_1gh)		龙江组(K_1l)		光华组(K_1gh)	上段 中段 下段
	中兴安岭火山岩组(J_3z)		龙江组(K_1l)				龙江组(K_1l)	

肢介化石。光华组中段泥岩和凝灰质泥岩产丰富热河生物群动植物化石。

2　化石组合及特点

龙江县光华村光华组层型剖面化石数量丰富,生物门类广,目前发现的化石有叶肢介(图 3a),介形类(图 3b),双壳和腹足类(图 3c),鱼虾类(图 3d,e),昆虫类(图 3f,g)和植物(图 3h)等 8 个门类 94 种动植物化石。笔者对该剖面的植物化石和孢粉有过系统报道(Zhang Yujin et al., 2016),本次将重点研究叶肢介、介形类化石和昆虫等化石。

2.1　叶肢介化石

光华组层型剖面上叶肢介化石数量最为丰富,多个层位均有出现,主要保存在泥岩、凝灰质泥岩中,化石保存状况良好。该剖面上光华组叶肢介化石,Wang Wuli(1976)、Ding Qiuhong(2014)曾相续有过报道。笔者通过重新测制光华组建组剖面,经系统研究共鉴定出 5 属 21 种,它们包括 *Bairdestheria* sp., *Eosestheria* (*Longjiangestheria*) *cericula*, *Eosestheria opima*, *Eosestheria* (*Longjiangestheria*) *opima*, *Eosestheria* (*Dongbeiestheria*) sp., *Eosestheria* (*Dongbeiestheria*) *guanghuaensis*, *Eosestheria* (*Donbeieatheria*) *shanquanensis*, *Eosestheria* (*Donbeieatheria*) *naketaensis*, *Eosestheria* (*Diformograpta*) *valida*, *Eosestheria* (*Diformograpta*) *vera*, *Eosestheria* (*Diformograpta*) *pudica*, *Eosestheria* (*Diformograpta*) cf. *middendorfii* (Jones), *Eosestheria* (*Filigrapta*) sp., *Eosestheria* (*Filigrapta*) cf. *ovata*, *Eosestheria* (*Filigrapta*) cf. *producta*, *Eosestheria* (*Clithrograpta*) sp., *Eosestheria* (*Clithrograpta*). *gujialingensis*, *Eosestheria* (*Plocestheria*) *chifengensis*, *Eosestheria* (*Plocestheria*) cf. *chifengensis*, *Eosestheria* (*Plocestheria*) *damiaoensis*, *Eosestheria* (*Plocestheria*) cf. *damiaoensis*, *Eosestheria* (*Plocestheria*) cf. *zhangjiagouensis*, *Asioestheria hamakengensis*, *Asioestheria* cf. *sandaogouensis*, *Asioestheria* cf. *nanyingpanensis*, *Chifengestheria* sp., *Yanjiestheria* sp.。

光华组叶肢介化石主要赋存在于光华组中、上段,该组叶肢介可以建立 1 个 *Eosestheria opima*-*E.* (*Dongbeiestheria*) *guanghuaensis* 组合(Ding Qiuhong et al., 2014)(见图 4),而其中 *Eosestheria* (*Plocestheria*)和 *Eosestheria* (*Clithrograpta*)均表现出地方属种的特点,例如 *Eosestheria* (*Plocestheria*)主要出现在龙江县光华村和赤峰一带。而在光华组中段下部第 32、33 和 35 层出现大量的 *Eosestheria* (*Dongbeiestheria*) *guanghuaensis*,也是地方属种,且仅出现在龙江县光华村一带,与 *Eosestheria opima* 相伴生,本文将其建立一个叶肢介亚组合为 *Eosestheria* (*Dongbeiestheria*) *guanghuaensis*-*Eosestheria opima*,置于光华组中段下部;同时本次工作在光华组中段上部第 47 和 49 层中新发现大量 *Eosestheria* (*Clithrograpta*) *gujialingensis*,该种具有典型的时代意义,并且可与辽西义县组中下部进行对比,因此本文将其与其他优势种建立另一个叶肢介亚组合为 *Eosestheria* (*Clithrograpta*) *gujialingensis* - *Eosestheria* (*Plocestheria*) *chifengensis*,置于光华组中段上部。

表 2　龙江县光华组层型剖面

Table 2　Stratotype section of Guanghua Formation in Longjiang County

下白垩统甘河组(K_1g)灰黑色玄武岩

整合接触

下白垩统光华组(K_1gh)	厚度>743.78m
光华组上段(K_1gh^3):	
61.灰黑—灰绿色角岩化泥质粉砂岩	6.7m
60.灰绿色凝灰质砂砾石	6.4m

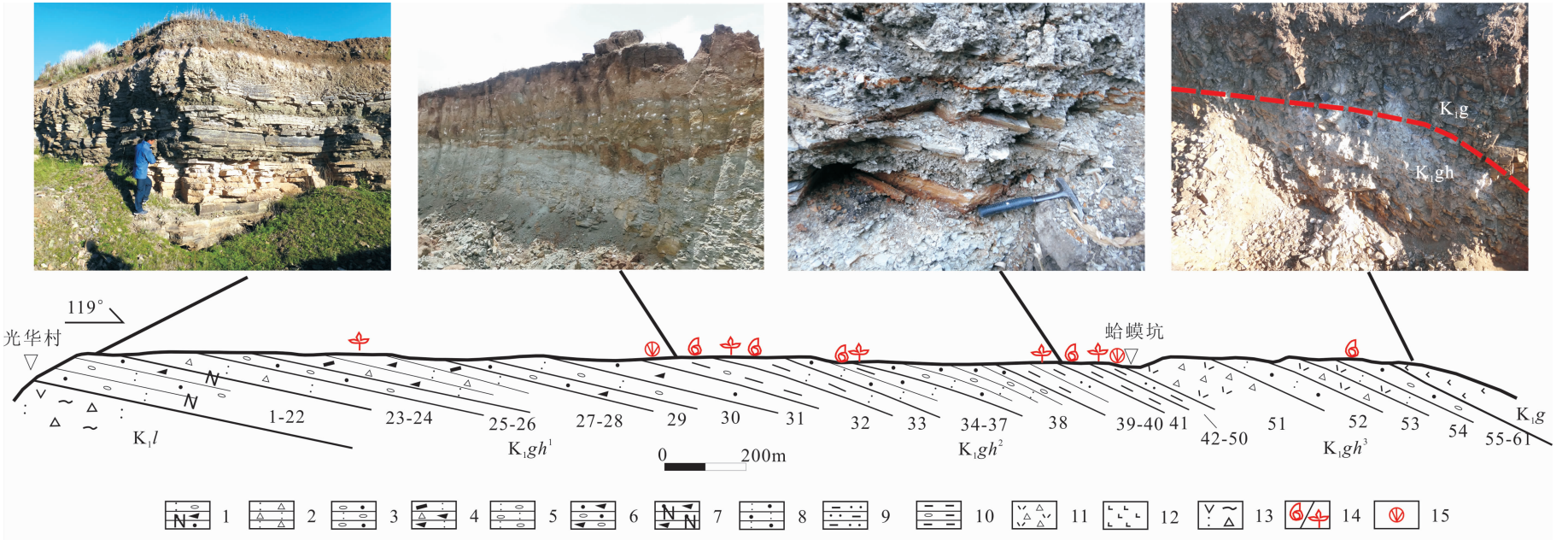


图2　龙江县山泉镇光华组实测剖面及热河生物化石采样位置

Fig.2　Sampling locations and geological section of Guanghua Formation at Shanquan town in Longjiang County

1—凝灰质含砾岩屑砂岩；2—凝灰质角砾岩；3—砂砾岩；4—沉凝灰质晶屑岩屑角砾岩；5—凝灰质砾岩；6—含砾砂岩；7—长石岩屑砂岩；8—凝灰质砂岩；9—泥质粉砂岩；10—含砾黏土岩；11—流纹质角砾岩；12—玄武岩；13—安山质角砾熔结凝灰岩；14—动植物化石；15—同位素样品位置

1—Tuffaceous pebble litharenite；2—tuffaceous breccia；3—glutenite；4—sedimentary tuffaceous lithic breccia；5—tuffaceous conglomerate；6—pebble sandstone；7—feldspar debris sandstone；8—tuffaceous sandstone；9—argillaceous siltstone；10—gravel clay rock；11—rhyolite breccia；12—basalt；13—andesite boulder melted tuff；14—collection location of animal and plant fossils；15—isotope sampling location

59. 灰绿色凝灰质粗砂岩　11.3m
58. 灰绿色凝灰质砂砾岩　13.1m
57. 灰绿色黏土岩,含叶肢介 *Eosestheria*(*Plocestheria*) *chifengensis*,植物化石:*Cladophlebis browniana* 等。　4.6m
56. 灰绿色凝灰质砂砾岩　13.1m
55. 灰绿色含砾凝灰质粗砂岩　16.7m
54. 灰紫色流纹质凝灰岩　4.8m
53. 灰绿色流纹质火山角砾岩　25.5m
52. 灰绿色凝灰质薄层粗砂岩　13.4m
51. 灰绿色流纹质火山角砾岩　48.1m

光华组中段(K_1gh^2)

50. 灰绿色黏土岩　2.4m
49. 灰绿色泥岩与灰绿色粉砂岩互层,含叶肢介:*Eosestheria*(*Clithrograpta*). *gujialingensis*, *Eosestheria*(*Plocestheria*) *chifengensis*, *Eosestheria opima*、植物化石等。　3.3m
48. 灰黑色黏土岩夹薄层凝灰质泥岩　10.5m
47. 灰黑色凝灰质泥岩,含叶肢介 *Eosestheria opima*, *Eosestheria*(*Dongbeiestheria*) *guanghuaensis*, *Eosestheria*(*Dong beiestheria*) sp., *Eosestheria*(*Clithrograpta*) *gujialingensis*, *Eosestheria*(*Clithrograpta*) sp., *Eosestheria*(*Plocestheria*) *chifengensis*, *Eosestheria*(*Plocestheria*) *damiaoensis*, *Eosestheria*(*Plocestheria*) cf. *zhangjiagouensis*, *Asioestheria hamakengensis*, *Yanjiestheria* sp., *Eosestheria*(*Filigrapta*) sp.;昆虫类:*Ephemeropsisi trisetalis*, *Aeschnidium* sp., *Coptoclava longipoda*, *Karataviell chinensis* 等;虾类:*Liaoningogriphus quadripartitus*;腹足类:*Bithynia* sp.;植物化石:*Equisetites* sp., *Onychiopsis elongata*, *Cladophlebis* cf. *neimengensis*, *Ginkgoites* sp., *Carpolithus* sp., *Acanthopteris alata*, *Podozamites* sp., *Baiera* cf. *gracilis*, *Phoenicopsis* sp., *Ctenis* sp., *Czekanowskia rigida*, *Xiajiajienia* sp., *Coniopteris* sp. 等;孢粉化石等。　1.5m
46. 灰绿色黏土岩夹薄层凝灰质泥岩,含叶肢介:*Eosestheria opima*, *Yanjiestheria* sp.;虾类:*Liaoningogriphus quadripartitus*;植物化石:*Equisetites* sp., *Carpolithus* sp., *Acanthopteris alata* 等。　0.6m
45. 黄绿色黏土岩与凝灰质细砂岩互层,含叶肢介:*Eosestheria*(*Clithrograpta*) *gujialingensis*, *Eosestheria*(*Plocestheria*) *chifengensis* 等。　1.6m
44. 灰黑色薄层黏土岩　1.2m
43. 黄绿色薄层黏土夹灰绿色薄层凝灰质粉砂岩,含叶肢介:*Eosestheria*(*Plocestheria*) *chifengensis*, *Eosestheria*(*Plocestheria*) *damiaoensis*, *Eosestheria*(*Plocestheria*) cf. *zhangjiagouensis*;虾类:*Liaoningogriphus quadripartitus*;植物化石:*Equisetites* sp., *Carpolithus* sp. 等。　1.6m
42. 灰绿色中薄层凝灰质细砂岩　0.2m
41. 黄绿色黏土岩,含少量叶肢介化石:*Eosestheria*(*Plocestheria*) *chifengensis* 等。　1.6m
40. 青灰色薄板状泥质粉砂岩,含叶肢介:*Eosestheria*(*Clithrograpta*). *gujialingensis*, *Eosestheria*(*Plocestheria*) *chifengensis*, *Eosestheria opima*;鱼:*Lycoptera*. *Davidi*, *Lycoptera* sp.;腹足类:*Valvata aff*. *Suturalis*, *Bithynia* sp. 等。　31.2m
39. 灰绿色薄板状黏土岩　4.9m
38. 灰绿—灰紫色中厚层凝灰质砂砾岩夹薄层凝灰质砾岩　29.4m
37. 浅灰绿色中厚层凝灰质中细粒砂岩　15.3m
36. 灰绿色中薄层凝灰质含砾中粗粒砂岩　12.7m
35. 青灰色中薄层粉砂质泥岩,含少量叶肢介:*Eosestheria*(*Dongbeiestheria*) *guanghuaensis*, *Eosestheria opima* 等。　5.0m
34. 灰白色中厚层凝灰质中粗粒砂岩　40.9m
33. 灰色薄板状凝灰质页岩,含丰富叶肢介:*Eosestheria opima*, *Eosestheria*(*Dong beiestheria*) sp., *Eosestheria*(*Dongbeiestheria*) *guanghuaensis* 等。　43.8m
32. 浅灰绿色含砂砾黏土岩,含叶肢介:*Eosestheria opima*, *Eosestheria* sp., *Eosestheria*(*Dongbeiestheria*) *guanghuaensis*;介形类:*Cypridea*(*Cypridea*) *tubercularis*, *Cypridea*(*Cypridea*) *vitimensis*, *Darwinula contracta*,双壳类:*Arguniella subcentralis* 和 *Sphaerium* sp. 等;腹足类:*Valvata* aff. *Suturalis* 等。　44.2m
31. 灰紫色中厚层凝灰质粗粒长石岩屑砂岩　4.8m

光华组下段(K_1gh^1)

30. 灰绿色中层凝灰质中砾砾岩　20.5m
29. 黄绿色薄层凝灰质含砾中粗粒岩屑砂岩　24.7m
28. 黄绿色沉晶屑岩屑凝灰角砾岩　66.8m
27. 灰绿色沉晶屑岩屑凝灰角砾岩　44.1m
26. 灰绿色厚层凝灰质中细粒长石岩屑砂岩夹灰绿色薄层凝灰质细砂岩　72.7m
25. 灰绿色中厚层凝灰质中砾砾岩　4.0m
24. 灰紫色中厚层凝灰质中细砾角砾岩　19.1m
23. 灰绿—黄绿色凝灰质角砾岩　68.1m
22. 灰绿色薄层凝灰质中细粒长石岩屑砂岩　0.1m
21. 灰褐—灰绿色薄层凝灰质含砾粗粒长石岩屑砂岩　0.04m
20. 灰绿色薄层凝灰质含砾细粒长石岩屑砂岩,含植物化石碎片、植物茎杆等。　0.2m
19. 灰褐色薄层凝灰质中细粒长石岩屑砂岩,含植物化石碎片、植物茎杆等。　0.1m
18. 灰绿—灰褐色中层凝灰质中砾岩　0.2m
17. 黄褐色薄层凝灰质中粗粒岩屑杂砂岩　0.3m

16.灰绿色薄层凝灰质细粒长石岩屑砂岩 0.05m
15.黄绿色薄层凝灰质中粒长石岩屑砂岩 0.2m
14.灰绿色薄层凝灰质含砾粗粒长石岩屑砂岩 0.1m
13.灰绿色薄层凝灰质中粒砾岩 0.1m
12.黄绿色薄层长石岩屑中细砂岩 0.08m
11.黄绿色薄层凝灰质砂砾岩 0.3m
10.黄绿色薄层凝灰质中粒砾岩与薄层凝灰质粗粒长石岩屑砂岩互层 0.1m
9.黄绿色薄层凝灰质含砾粗粒长石岩屑砂岩 0.05m
8.灰绿色薄层凝灰质含砾细粒长石岩屑砂岩 0.1m
7.灰绿色薄层凝灰质长石岩屑砂岩 0.08m
6.灰绿色薄层凝灰质中砾砾岩 0.1m
5.褐色薄层含砾粗粒长石岩屑砂岩 0.1m
4.灰绿色薄层凝灰质细粒长石岩屑砂岩 0.1m
3.褐色中细粒砂砾岩 0.08m
2.黄绿色中层凝灰质中细砾砾岩 0.3m
1.灰绿色含砾粗粒长石岩屑砂岩 0.6m

——————— 整合接触 ———————

下白垩统龙江组(K_1l)灰绿色安山质角砾熔结凝灰岩

2.2 介形类化石

光华组层型剖面介形类化石丰富,但种类比较单调,其主要保存在剖面 32 层的含砂砾黏土岩中。通过本次研究共鉴定出 2 属 4 种,主要有 *Cypridea* (*Cypridea*) *tubercularis*, *Cypridea* (*Cypridea*) *vitimensis*, *Darwinula contracta*, *Cypridea* spp. 等,其中 *Cypridea* (*Cypridea*) *tubercularis* 和 *Cypridea* (*Cypridea*) *vitimensis* 为优势种,可暂称 *Cypridea* (*Cypridea*) *tubercularis*-*Cypridea* (*Cypridea*) *vitimensis* 组合。该组合以壳面具网纹和小刺的女星介为主,伴有少量的 *Darwinula contracta*。女星介属以单瓣保存者居多,亦可见完整壳体,且外模上的网纹和小刺印痕保存较好,成年个体与未成年个体普遍共生,推测该组合属于原地或近原地埋藏类群。

2.3 双壳类和腹足类

光华组层型剖面双壳类化石非常丰富,但分异度低,在光华组中段的黏土岩中分布广泛,但仅见 2 种,主要为 *Arguniella subcentralis* 和 *Sphaerium* sp.,暂定为 *Arguniella*-*Sphaerium* 组合,与介形虫共生。腹足类在光华组层型剖面中少量分布,主要为 *Valvata aff. suturalis*, *Bithynia* sp.,由于种类和数量均较少,目前暂时不建立化石组合。

2.4 鱼虾类

光华组层型剖面及次型剖面(合心村和对宝水库)鱼类化石和虾类化石数量丰富,分布在光华组中段的黏土岩中,但分异度较低,主要为 *Lycoptera davidi* 和 *Lycoptera* sp.,均属真骨鱼次纲,是真骨鱼类中的原始类型。狼鳍鱼个体较小,一般在 9~15 厘米之间,属群聚鱼类,在黏土岩中成群得以保存,也是龙江盆地热河生物群中数量最大的鱼类群。光华组中段的黏土岩分布两种类型虾类,一种是洞虾类,另一种尚待研究。因这两种虾类均发现于黑龙江省龙江县山泉镇光华大队蛤蟆坑附近的光华组中段,故统称一个虾类组合,即 *Liaoningogriphus quadripartitus* 顶峰带。

2.5 昆虫

关于光华组昆虫化石的前人报道较少,本次工作笔者重点对剖面中的昆虫化石进行了系统采集和研究,其化石主要赋存于光华组中段第 46 和 47 层的黏土岩和凝灰质页岩中,共鉴定出 7 目 8 科,主要有 *Aeschnidium* sp., *Karataviell chinensis*, *Coptoclava longipoda*, *Ephemeropsis trisetaris* Eichwald, *Homoptera*, *Orthoptera* (*Habrohagla*); *Raphidiodea*, *Prophalangopsidae*。其中 *Coptoclava longipoda* 和 *Ephemeropsis trisetaris* 为优势种,将其暂定为 *Coptoclava longipoda*-*Ephemeropsis trisetaris* 组合。本次发现大量的昆虫化石,主要由蜉蝣目、蜻蜓目、半翅目、同翅目、直翅目、鞘翅目、蛇蛉目等目中的属种,这对研究早白垩世时期各类生态环境中昆虫群组成、演化和时空分布规律,以及对恢复古生态环境及提高地层划分对比的精度具有重要地质意义。

2.6 植物

光华组层型剖面上植物化石丰富,以光华组中段最为丰富,经 Zhang Yujin et al. (2016)系统研究记有植物大化石 18 属 31 种,它们由木贼类,真蕨类,苏铁类,本内苏铁类,银杏类,茨康类,买麻藤类,松柏类,化石果类等组成。植物群以真蕨类为主,主要由蚌壳蕨科的 *Coniopteris*、*Xiajiajienia*,水龙骨科的 *Onychiopsis* 和分类位置不明的 *Cladophlebis* 等组成,其中 *Cladophlebis* 分异度最高,占植物组合的 19.4%;其次为银杏纲(包括茨康类),占植物组合的 19.4%,多为线状叶类型;苏铁类、本内苏铁类植物较少;有节类、松柏类及买麻藤类仅各保存 1 属,但有节类数量丰富,系该套地层的常见植物化石。总体上该植物群种类丰富,类型多样,以真蕨类 *Onychiopsis elongata* 和 *Acanthopteris alata* 较为丰富,剖面的多处层位均有出露,且保存较完整的营养羽叶(Zhang Yujin et al.,2016),因此将光华组植

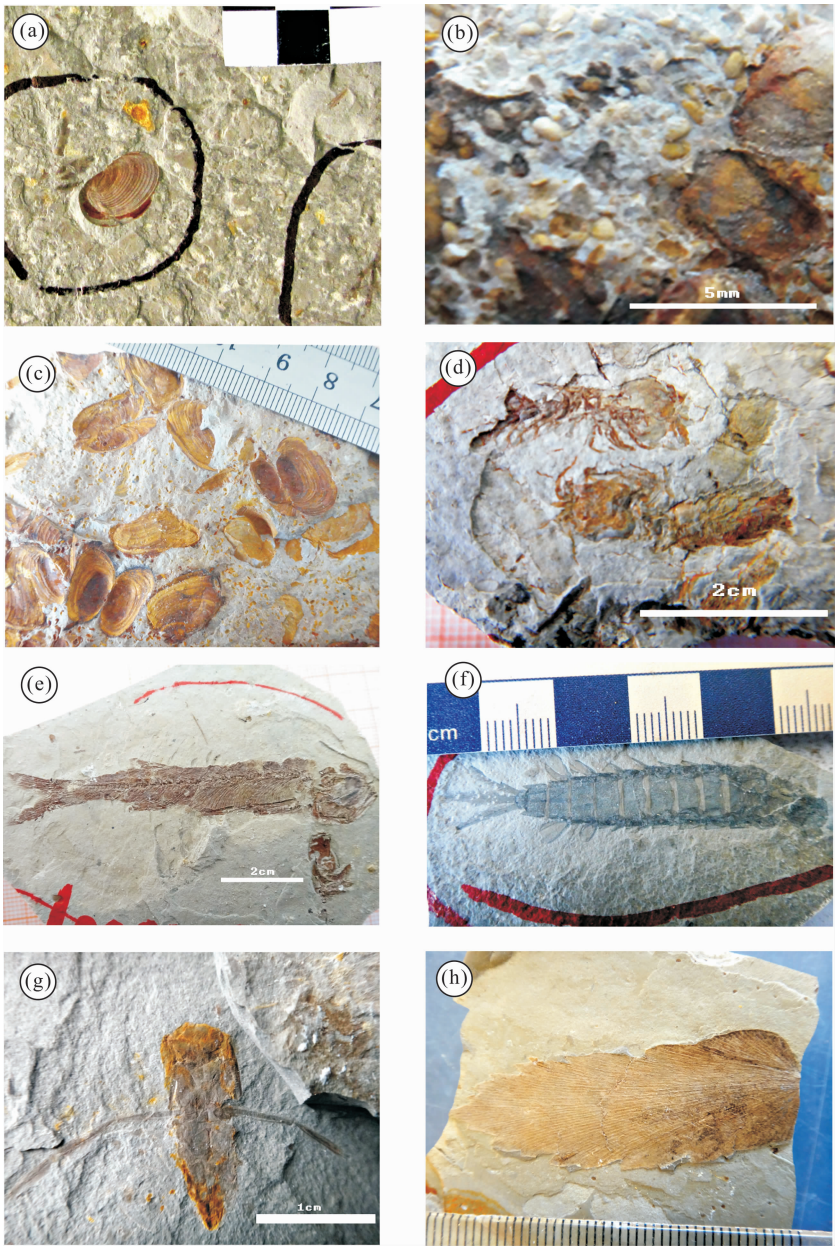


图 3　龙江盆地光华组热河生物群部分化石照片

Fig. 3　Photos of fossils of Jehol Biota from Guanghua Formation in Longjiang basin

(a)—叶肢介;(b)—介形虫;(c)—球蚬;(d)—辽宁洞虾;(e)—戴氏狼鳍鱼;(f)—三尾拟蜉蝣;(g)—长肢裂尾甲;(h)—新似查米亚

(a)—Conchostracan;(b)—Ostracoda fossils;(c)—*Sphaerium* sp.;(d)—*Liaoningogriphus quadripartitus*;(e)—*Lycoptera davidi*;
(f)—*Ephemeropsis trisetalis*;(g)—*Coptoclava longipoda*;(h)—*Neozamites denticulatus*

物组合暂定为 *Onychiopsis elongata-Acanthopteris alata* 组合,反映了该时期的植物群面貌。

2.7　孢粉

光华组孢粉化石采自于层型剖面的第 47 层,岩性为灰黑色凝灰质泥岩,孢粉化石中蕨类植物孢子含量较低,约占孢粉组合的 2.83%,共 3 属 3 种(Zhang Yujin et al., 2016),主要为 *Cyclogranisporites* sp., *Leiotriletes* sp., *Biretisporites potoniaei*。裸子植物花粉 15 属 18 种,主要为松柏类,含量约占孢粉组合的 97.17%,以古型的双气囊类花粉为主,其中阿里粉(*Alisporites*)占优势(33.97%),主要为 *Alisporites parvus* 和 *Alisporites thomasii*;皱球粉主要为 *Psophosphaera bullulinaeformis*(16.04%);罗汉松粉(*Podocarpidites*)主要为 *Podocarpidites canadensis*(1.89%)和 *Podocarpidites biformis*(9.43%)。其它的孢子或花粉含量均较少,因此该孢粉组合暂定为 *Cyclogranisporites*-Alisporites 组合。

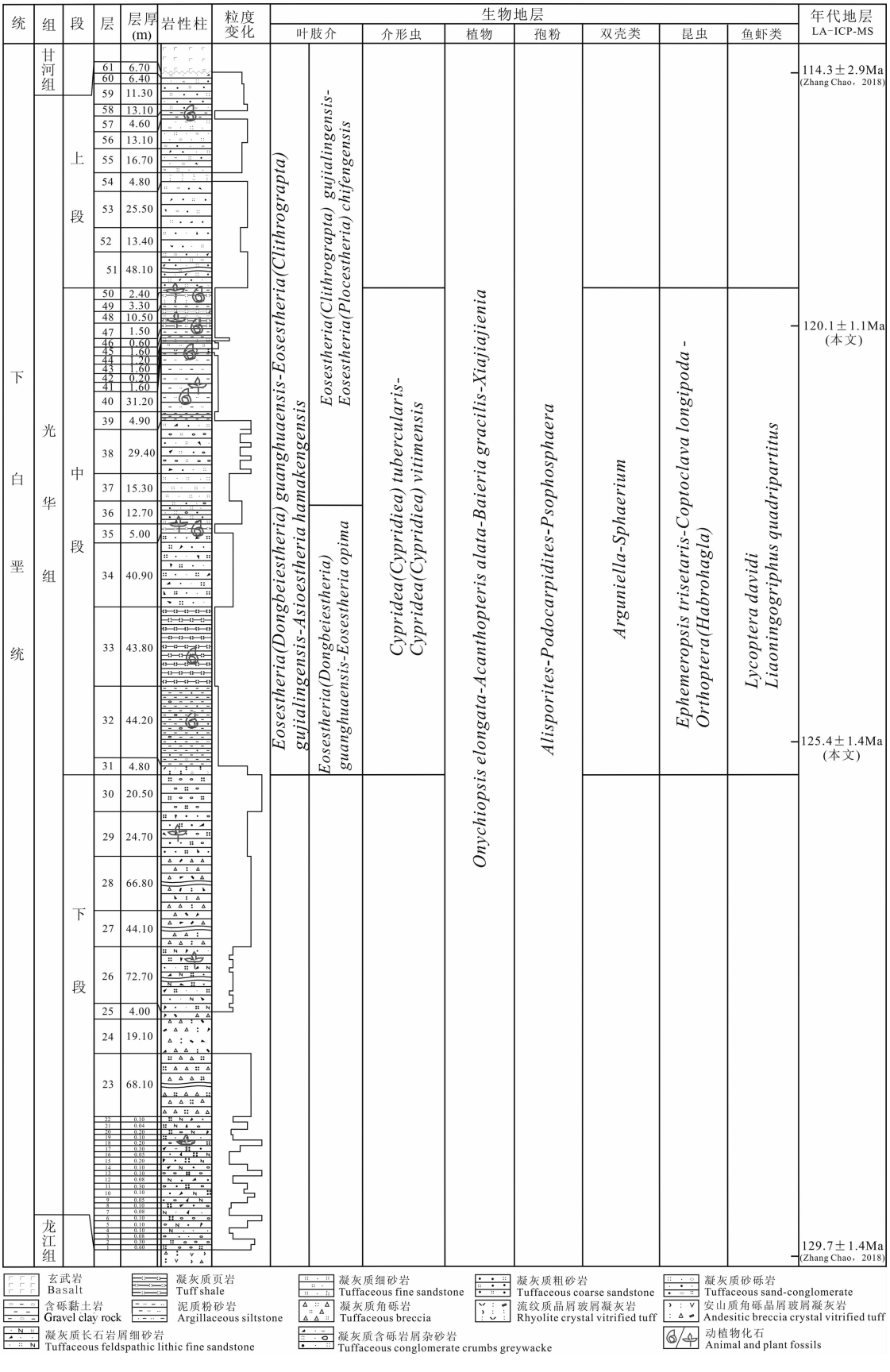


图 4 龙江盆地光华组层型剖面生物地层－年代地层划分表

Fig. 4 Biostratigraphy-chronostratigraphy of Guanghua Formation section in Longjiang basin

3　生物群生存时限及地层时代

3.1　生物年代学

叶肢介和介形类的生物地层分带为年代地层的建立提供了重要的化石依据(Niu Shaowu et al.，2015)。叶肢介化石主要见于陆相地层中,由于它数量多、演化快、分布广泛,近年来已成为中国和邻近地区中生代非海相生物地层划分和对比研究的重要手段之一(Chen Peiji，2012)。以往研究在光华组层型剖面上发现的大量东方叶肢介,其中以 *Eosestheriaopima* 和 *Eosestheria* (*Dongbeiestheria*) *guanghuaensis* 为优势种,但是具有地方属种特征。本次新发现大量 *Eosestheria* (*Clithrograpta*) *gujialingensis*,具有明显的区域对比性,提供了与辽西义县组中下部直接对比的证据(Wang Wuli et al.，1989，2004),其时代为早白垩世早中期。

介形类组合中的 *Cypridea* (*Cypridea*) *tuberculariss* 主要分布在冀北滦平盆地的大店子组(Pang Qiqing et al.，2002，2006;Zheng Yujuan et al.，2011),辽西大成子、四官营子和建昌等盆地的义县组下部(Zhang Lijun et al.，2012; Zhang Lidong et al.，2016),吉林白山地区鹰嘴砬子组(Huang Wei，2016),其时代均为早白垩世早中期。*Cypridea* (*Cypridea*) *vitimensis* 始见于俄罗斯西伯利亚地区早白垩世地层,后在蒙古人民共和国东部下白垩统的查干察布组和准巴音组(Shuvalov，1975)、中国冀北滦平盆地的大店子组第二段(Pang Qiqing et al.，2002，2006)、辽西地区的九佛堂组(Zhang Lijun，1987)、辽东地区的小岭组(Li Zhishun et al.，1982;Huang Wei，2016)中均有发现。因此,*Cypridea* (*Cypridea*) *tuberculariss*—*Cypridea* (*Cypridea*) *vitimensis* 组合时代当属早白垩世早中期。另外,*Arguniella-Sphaerium*(额尔古纳蚌—球岘)组合主要分布于辽西、冀北等地区的义县组(Wang Wuli et al.，2004),时代为早白垩世。

光华组的鱼虾类和昆虫类,也具有一定时代指示意义。陈丕基和沈炎彬(Shen Yanbin et al.，1999)在辽西北票上园乡尖山沟和黄半吉沟的义县组尖山沟层、大康堡层发现丰富的淡水虾类四节辽宁洞虾,而戴氏狼鳍鱼和三尾拟蜉蝣化石为已发现的热河生物群典型分子(Ji Qiang et al.，2002),因此时代均指示为早白垩世。

光华组植物化石组合的时代特征较明显,有节类 *Equisetites exiliformis* Sun *et* Zheng 主要见于辽西义县组(Sun Ge et al.，2001),真蕨类夏家街蕨属(*Xiajiajienia* sp.)迄今仅见于吉林省辽源市夏家街村的中侏罗统夏家街组和辽宁西部下白垩统义县组(Deng Shenghui et al.，1995;Sun Ge et al.，2001);*Onychiopsis* 属是早白垩世 *Onychiopsis-Rufaidid* 植物群的代表分子之一(Zhang Wu et al.，1980; Zheng Shaolin et al.，1982，1983)。*Acanthopteris alata* 主要见于下白垩统沙海组、阜新组(Chen Fen et al.，1988;Deng Shenghui et al.，2001)。多籽石籽(*Carpolithus multiseminalis*)迄今仅见于辽西下白垩统义县组(Sun Ge et al.，2001)。龙江盆地植物群与辽西义县组热河生物群中期可对比。孢粉组合以裸子植物花粉为主,均为中生代常见孢粉化石。总体上龙江县光华村的植物化石反映其时代应属于早白垩世。

综上所述,龙江县光华大队光华组的叶肢介、介形类、鱼虾类、昆虫类和植物化石均显示为热河生物群的典型分子,其时代应属于早白垩世早中期。

3.2　同位素年代学

3.2.1　样品分析

本次工作笔者在光华组层型剖面采集了 2 件同位素样品,以辅证热河生物群的生存时限,分别取自于光华组中段的下部和上部(图 2,图 4),其中 PM211TW104 采自于光华组层型剖面的 32 层,岩性为浅灰绿色流纹质晶屑玻屑凝灰岩(图 5),玻屑凝灰结构,块状构造。岩石主要由玻屑和火山灰组成,含少量的晶屑和陆源泥质成分。玻屑:呈弧面棱

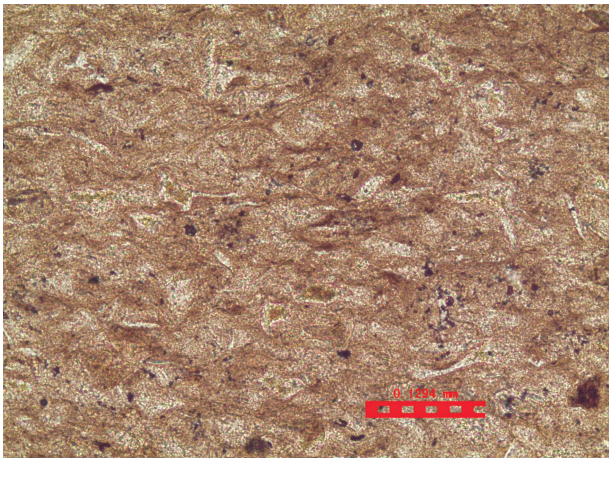


图 5　龙江盆地光华组流纹质晶屑玻屑凝灰岩镜下照片(PM211TW104)

Fig. 5　Microphotograph of rhyolite crystal devitrified tuff from Guanghua Formation in Longjiang basin

角状，条状，粒度 0.05～0.2mm 轻微脱玻化，显示微弱光性，含量 55%；晶屑：由棱角状的石英和斜长石组成，粒度 0.05～0.1mm，含量 5%。陆源碎屑：由少量的泥质和方解石颗粒组成，微量。火山灰：由粒度小于 0.05mm 的玻屑和晶屑组成，含量 40%。

PM211TW123 采自于光华组层型剖面的 47 层，岩性为灰黑色凝灰质页岩（图 6），凝灰质泥质结构，页理构造。主要由凝灰质成分和少量的陆源碎屑组成。凝灰质成分主要由玻屑组成，含微量晶屑，含量 45%。玻屑长条状，部分保持弧面棱角状特征，压实作用后具定向性。脱玻化显示微弱光性；晶屑，由棱角状长石和石英组成，粒度 0.05～0.1mm。陆源碎屑：由泥质、铁质细粉砂和方解石微粒集合体组成，定向分布于页理中，含量 55%。

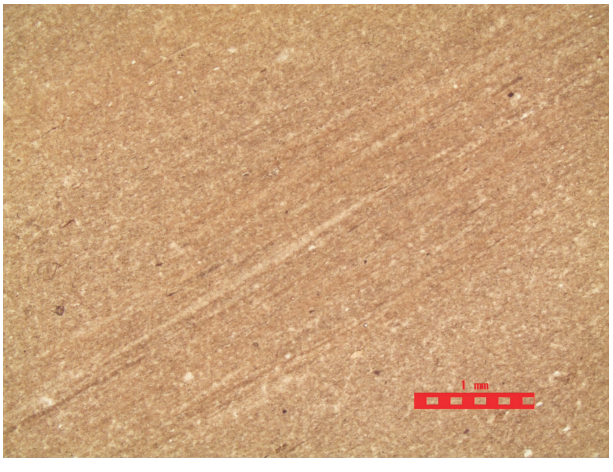


图 6 龙江盆地光华组凝灰质页岩镜下照片（PM211TW123）

Fig. 6 Microphotograph of tuffaceous shale from Guanghua Formation in Longjiang basin

样品的破碎和锆石的分选工作由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。样品制靶和锆石阴极发光图像在在北京中兴美科科技有限公司获取。LA-ICP-MS（激光剥蚀电感耦合等离子体质谱）锆石 U-Pb 定年测试在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成。本次实验所采用的仪器为 Thermo Element II 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 New wave UP 213 激光剥蚀系统。激光剥蚀所用斑束直径为 30μm，频率为 10 Hz，能量密度约为 16～17 J/cm^2，以 He 为载气。普通铅校正采用 Anderson（2002）的方法，并采用哈佛大学国际标准锆石 91500 作为外部校正，Plesovice 作质量监控，年龄计算采用国际标准程序 Isoplot（ver3.0），测试数据、加权平均年龄的误差均为 1σ，详细实验测试过程可参见文献（Fan Chenzi et al.，2012）。对于＜1 000 Ma 的数据，用^{206}Pb/^{238}U 年龄，以^{206}Pb/^{238}U 年龄和^{207}Pb/^{206}Pb 年龄的比值为标准筛选 U-Pb 年龄数据（Nelson et al.，2007；Kalsbeek et al.，2008；Zhang Yujin et al.，2016；Hao Baiwu et al.，2017），谐和度在 95%以上（包含 95%）的数据为有效数据。

3.2.2 分析结果

样品 PM211TW104 和 PM211TW123 的锆石分析结果分别见表 3 和表 4，代表锆石 CL 图像见图 7a，b，U-Pb 锆石谐和图和权重图见图 8 和图 9。

对样品 PM211TW104 进行了 30 个测试点分析，锆石的阴极发光 CL 图像（图 7a）显示锆石均呈自形－半自形，多呈短柱状，少量呈长柱状，粒径 50

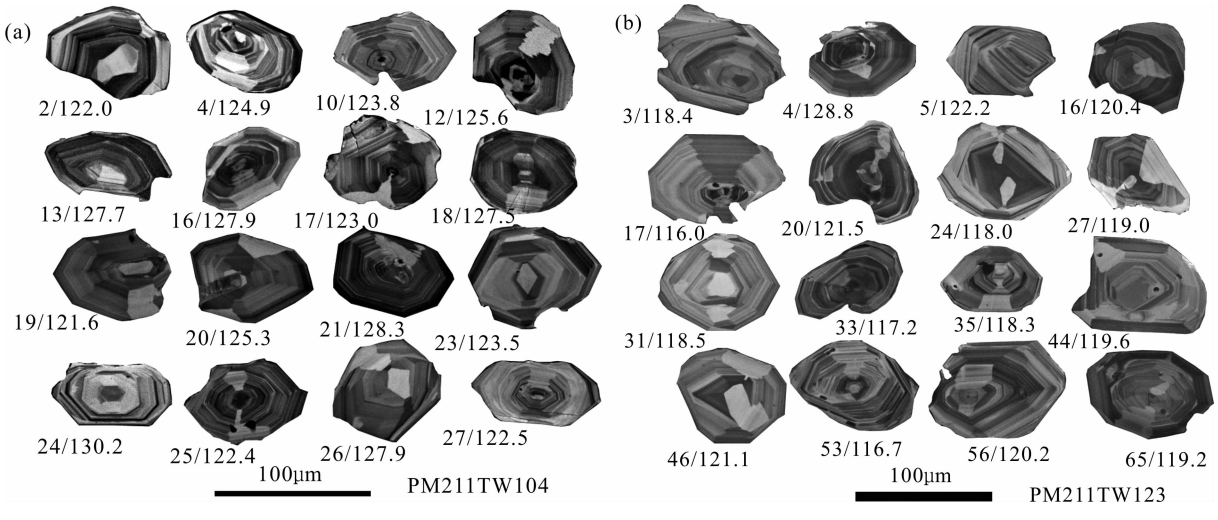


图 7 龙江盆地光华组锆石阴极发光图像

Fig. 7 Zircon cathode glow image of Guanghua Formation in Longjiang basin

表 3　龙江盆地光华组凝灰岩锆石 U-Pb 测试结果(PM211TW104)

Table 3　Zircon U-Pb isotope data of tuff from Guanghua Formation in Longjiang basin

样品名	Th/U	同位素比值						年龄(Ma)					
		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
PM211TW104_1	0.71	0.0485	0.0039	0.1212	0.0101	0.0179	0.0005	123.0	177.4	116.1	9.1	114.3	3.4
PM211TW104_2	0.98	0.0487	0.0019	0.1255	0.0052	0.0191	0.0005	132.2	89.0	120.1	4.7	122.0	2.9
PM211TW104_3	1.49	0.0749	0.0049	0.2121	0.0150	0.0203	0.0006	1066.2	126.0	195.3	12.6	129.7	3.9
PM211TW104_4	0.86	0.0496	0.0023	0.1309	0.0065	0.0196	0.0005	175.9	106.4	124.9	5.8	124.9	3.0
PM211TW104_5	1.28	0.0618	0.0022	0.1666	0.0064	0.0193	0.0005	668.2	74.6	156.5	5.6	123.5	3.0
PM211TW104_6	1.95	0.0808	0.0029	0.2035	0.0079	0.0187	0.0005	1217.2	68.7	188.1	6.7	119.6	2.9
PM211TW104_7	2.23	0.0514	0.0039	0.1514	0.0122	0.0219	0.0007	257.9	165.0	143.2	10.7	139.8	4.1
PM211TW104_8	1.93	0.0728	0.0024	0.1867	0.0066	0.0186	0.0005	1007.4	64.4	173.8	5.7	118.8	2.9
PM211TW104_9	1.19	0.0616	0.0025	0.1602	0.0069	0.0191	0.0005	661.2	83.4	150.9	6.0	122.1	3.0
PM211TW104_10	0.66	0.0489	0.0024	0.1307	0.0066	0.0194	0.0005	142.9	108.9	124.7	6.0	123.8	3.1
PM211TW104_11	0.94	0.0566	0.0027	0.1492	0.0076	0.0194	0.0005	474.3	103.3	141.2	6.7	123.7	3.1
PM211TW104_12	1.02	0.0493	0.0028	0.1333	0.0078	0.0197	0.0005	160.7	125.6	127.0	7.0	125.6	3.2
PM211TW104_13	0.39	0.0477	0.0015	0.1314	0.0044	0.0200	0.0005	83.3	72.1	125.3	3.9	127.7	3.0
PM211TW104_14	1.65	0.0944	0.0034	0.2351	0.0093	0.0183	0.0005	1515.9	66.4	214.4	7.6	117.0	2.9
PM211TW104_15	1.24	0.0501	0.0022	0.1558	0.0074	0.0226	0.0006	199.4	99.4	147.0	6.5	143.8	3.6
PM211TW104_16	0.87	0.0508	0.0017	0.1347	0.0049	0.0200	0.0005	229.9	75.5	128.3	4.3	127.9	3.0
PM211TW104_17	0.87	0.0487	0.0035	0.1305	0.0098	0.0193	0.0005	131.7	161.5	124.6	8.8	123.0	3.3
PM211TW104_18	0.56	0.0478	0.0016	0.1291	0.0045	0.0200	0.0005	89.4	76.4	123.2	4.1	127.5	3.0
PM211TW104_19	1.04	0.0505	0.0018	0.1307	0.0051	0.0190	0.0005	216.3	82.3	124.7	4.6	121.6	2.9
PM211TW104_20	0.66	0.0505	0.0019	0.1327	0.0053	0.0196	0.0005	217.6	84.5	126.5	4.8	125.3	3.0
PM211TW104_21	0.72	0.0477	0.0015	0.1290	0.0044	0.0201	0.0005	81.7	75.0	123.2	4.0	128.3	3.0
PM211TW104_22	1.22	0.0508	0.0022	0.1505	0.0069	0.0224	0.0006	233.3	95.8	142.3	6.1	143.0	3.5
PM211TW104_23	1.45	0.0483	0.0048	0.1293	0.0133	0.0194	0.0006	111.7	218.2	123.4	12.0	123.5	4.0
PM211TW104_24	0.85	0.0498	0.0031	0.1378	0.0089	0.0204	0.0005	185.9	138.1	131.1	7.9	130.2	3.3
PM211TW104_25	1.29	0.0484	0.0021	0.1310	0.0060	0.0192	0.0005	118.9	99.1	125.0	5.4	122.4	2.9
PM211TW104_26	0.92	0.0470	0.0020	0.1290	0.0058	0.0200	0.0005	48.2	98.9	123.2	5.2	127.9	3.1
PM211TW104_27	0.59	0.0531	0.0026	0.1341	0.0069	0.0192	0.0005	332.4	106.4	127.8	6.2	122.5	3.1
PM211TW104_28	0.95	0.0500	0.0028	0.1360	0.0081	0.0196	0.0005	194.2	126.8	129.5	7.3	125.3	3.2
PM211TW104_29	1.54	0.0694	0.0026	0.1836	0.0075	0.0191	0.0005	910.0	76.4	171.1	6.4	122.0	3.0
PM211TW104_30	0.88	0.0511	0.0016	0.1389	0.0048	0.0201	0.0005	244.3	71.7	132.1	4.3	128.0	3.0

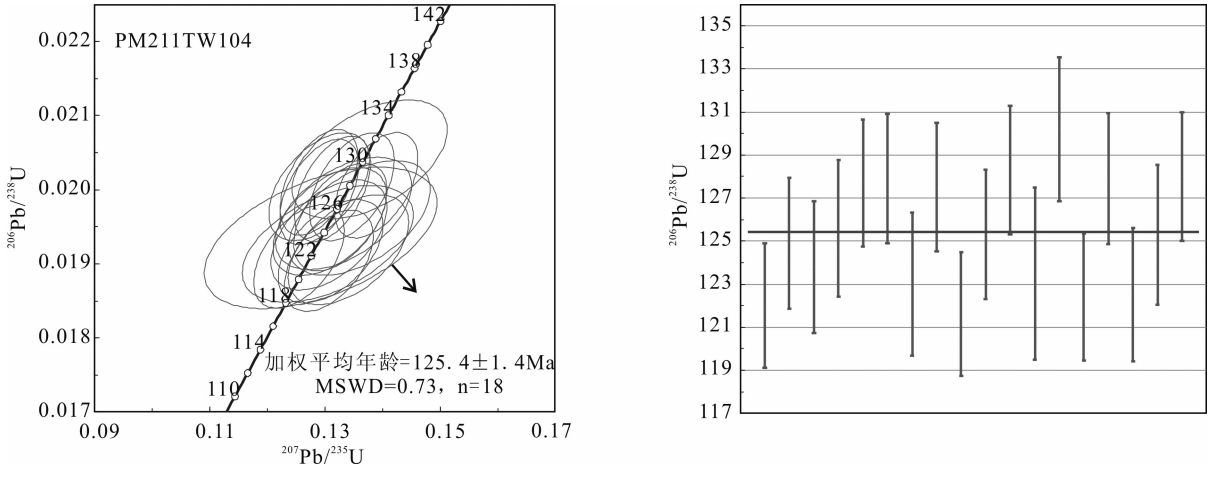


图 8　龙江盆地光华组凝灰岩的锆石 U-Pb 谐和图和权重图(PM211TW104)

Fig. 8　Zircon U-Pb concordia and weight diagram of tuff from Guanghua Formation in Longjiang basin

~80μm,长宽比值近 1∶1,具有清晰的振荡环带。具有较高的 Th/U 比值(0.36~2.23),反映了岩浆成因锆石的特点(Wu Yuanbao et al., 2004)。测年结果显示 18 个颗粒全部位于谐和线上及其附近(图 8a),$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为 125.4±1.4 Ma,代表光华组中段底部的沉积年龄。

表 4 龙江盆地光华组凝灰质页岩锆石 U-Pb 测试结果(PM211TW123)

Table 4 Zircon U-Pb isotope data of tuffaceous shale from Guanghua Formation in Longjiang basin

样品名	Th/U	同位素比值						年龄(Ma)					
		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
PM211TW123_1	0.81	0.0573	0.0017	0.1484	0.0048	0.0184	0.0004	501.3	63.6	140.5	4.2	117.6	2.8
PM211TW123_2	0.71	0.0497	0.0023	0.1418	0.0070	0.0211	0.0005	182.3	104.9	134.7	6.3	134.9	3.4
PM211TW123_3	0.59	0.0475	0.0022	0.1195	0.0058	0.0185	0.0005	73.3	106.8	114.6	5.3	118.4	3.0
PM211TW123_4	2.44	0.0498	0.0043	0.1338	0.0122	0.0202	0.0006	183.5	190.8	127.5	10.9	128.8	3.9
PM211TW123_5	0.66	0.0469	0.0017	0.1239	0.0049	0.0191	0.0005	44.7	85.3	118.6	4.4	122.2	2.9
PM211TW123_6	1.04	0.0587	0.0016	0.1563	0.0048	0.0193	0.0005	554.3	60.0	147.5	4.3	123.1	2.9
PM211TW123_7	1.60	0.0530	0.0042	0.1410	0.0117	0.0209	0.0006	327.2	168.3	133.9	10.4	133.2	4.0
PM211TW123_8	0.81	0.0640	0.0016	0.1787	0.0051	0.0198	0.0005	741.9	53.1	167.0	4.4	126.7	2.9
PM211TW123_9	0.81	0.0489	0.0016	0.1318	0.0046	0.0197	0.0005	144.9	73.0	125.7	4.1	125.8	3.0
PM211TW123_10	1.02	0.0480	0.0022	0.1320	0.0062	0.0195	0.0005	101.4	102.4	125.9	5.6	124.7	3.0
PM211TW123_11	0.65	0.0495	0.0024	0.1232	0.0062	0.0182	0.0005	169.6	108.1	117.9	5.6	116.3	2.9
PM211TW123_12	0.96	0.0513	0.0020	0.1335	0.0056	0.0191	0.0005	254.5	88.2	127.2	5.1	121.9	3.0
PM211TW123_13	1.49	0.0486	0.0019	0.1254	0.0052	0.0189	0.0005	130.2	89.8	120.0	4.7	120.5	2.9
PM211TW123_14	0.72	0.0495	0.0021	0.1304	0.0059	0.0185	0.0005	170.1	96.1	124.4	5.3	118.3	2.9
PM211TW123_15	1.61	0.0483	0.0032	0.1308	0.0090	0.0193	0.0005	114.3	148.3	124.8	8.1	123.3	3.4
PM211TW123_16	0.61	0.0479	0.0017	0.1286	0.0050	0.0189	0.0005	91.1	83.9	122.8	4.5	120.4	2.9
PM211TW123_17	0.56	0.0524	0.0025	0.1350	0.0067	0.0182	0.0005	303.2	103.1	128.6	6.0	116.0	2.9
PM211TW123_18	0.61	0.0485	0.0013	0.1249	0.0038	0.0183	0.0004	123.2	63.7	119.5	3.4	117.1	2.7
PM211TW123_19	0.69	0.0456	0.0022	0.1149	0.0058	0.0180	0.0004	0.1	85.7	110.4	5.3	115.0	2.8
PM211TW123_20	0.97	0.0496	0.0015	0.1310	0.0044	0.0190	0.0005	176.5	69.6	125.0	3.9	121.5	2.8
PM211TW123_21	0.46	0.0489	0.0017	0.1243	0.0046	0.0182	0.0004	140.7	77.8	119.0	4.1	116.5	2.8
PM211TW123_22	1.03	0.0494	0.0019	0.1313	0.0054	0.0194	0.0005	166.1	88.1	125.3	4.9	123.5	3.0
PM211TW123_23	1.05	0.0460	0.0018	0.1310	0.0056	0.0205	0.0005	0.1	88.4	125.0	5.0	130.6	3.1
PM211TW123_24	0.99	0.0492	0.0023	0.1250	0.0063	0.0185	0.0005	158.8	107.7	119.6	5.7	118.0	3.0
PM211TW123_25	0.63	0.0508	0.0018	0.1240	0.0048	0.0182	0.0004	230.1	80.4	118.7	4.3	116.1	2.8
PM211TW123_26	1.04	0.0523	0.0038	0.1279	0.0097	0.0182	0.0005	299.1	157.2	122.2	8.7	116.1	3.3
PM211TW123_27	1.24	0.0491	0.0023	0.1277	0.0063	0.0186	0.0005	153.0	106.6	122.0	5.7	119.0	2.9
PM211TW123_28	0.65	0.0421	0.0024	0.1137	0.0068	0.0201	0.0005	0.1	0.0	109.3	6.2	128.1	3.3
PM211TW123_29	1.45	0.0551	0.0020	0.1343	0.0053	0.0179	0.0004	417.3	79.3	128.0	4.7	114.3	2.8
PM211TW123_30	0.61	0.0460	0.0016	0.1236	0.0047	0.0191	0.0005	0.1	80.1	118.3	4.3	121.6	2.9
PM211TW123_31	0.67	0.0497	0.0019	0.1253	0.0051	0.0186	0.0005	179.7	85.6	119.8	4.6	118.5	2.8
PM211TW123_32	0.55	0.0517	0.0015	0.1399	0.0043	0.0191	0.0005	274.1	63.1	133.0	3.9	122.2	2.9
PM211TW123_33	0.58	0.0475	0.0014	0.1185	0.0039	0.0183	0.0004	71.5	71.2	113.7	3.6	117.2	2.8
PM211TW123_34	1.06	0.0491	0.0020	0.1159	0.0049	0.0175	0.0004	152.0	90.4	111.4	4.4	112.0	2.7
PM211TW123_35	0.98	0.0465	0.0018	0.1194	0.0050	0.0185	0.0004	24.5	91.5	114.5	4.5	118.3	2.8
PM211TW123_36	1.44	0.0471	0.0024	0.1222	0.0064	0.0185	0.0005	53.1	115.8	117.0	5.8	118.0	2.9
PM211TW123_37	0.58	0.0466	0.0022	0.1216	0.0060	0.0187	0.0005	27.4	108.2	116.5	5.4	119.6	2.9
PM211TW123_38	0.54	0.0463	0.0024	0.1235	0.0067	0.0186	0.0005	11.5	120.9	118.2	6.1	118.6	2.9
PM211TW123_39	1.01	0.0466	0.0016	0.1285	0.0048	0.0197	0.0005	30.0	80.5	122.8	4.3	125.7	3.0
PM211TW123_40	0.88	0.0467	0.0017	0.1245	0.0047	0.0195	0.0005	32.3	82.5	119.1	4.3	124.6	2.9
PM211TW123_41	0.68	0.0463	0.0025	0.1294	0.0073	0.0199	0.0005	13.5	124.0	123.5	6.5	126.7	3.2
PM211TW123_42	0.61	0.0492	0.0041	0.1277	0.0112	0.0183	0.0006	156.8	185.6	122.0	10.1	116.6	3.6
PM211TW123_43	0.62	0.0455	0.0017	0.1243	0.0050	0.0199	0.0005	0.1	58.2	119.0	4.5	127.3	3.0
PM211TW123_44	0.66	0.0468	0.0021	0.1243	0.0059	0.0187	0.0005	37.2	103.7	119.0	5.3	119.6	2.9
PM211TW123_45	1.97	0.0478	0.0033	0.1319	0.0095	0.0200	0.0006	87.3	156.9	125.8	8.6	127.9	3.5
PM211TW123_46	0.89	0.0457	0.0025	0.1231	0.0069	0.0190	0.0005	0.1	109.3	117.8	6.3	121.1	3.0
PM211TW123_47	0.82	0.0479	0.0019	0.1167	0.0049	0.0177	0.0004	93.6	92.0	112.1	4.4	113.3	2.7
PM211TW123_48	1.20	0.0497	0.0022	0.1311	0.0063	0.0186	0.0005	179.7	101.5	125.1	5.6	118.7	2.9
PM211TW123_49	0.70	0.0526	0.0022	0.1353	0.0061	0.0183	0.0005	312.7	93.7	128.9	5.5	117.0	2.9
PM211TW123_50	0.76	0.0475	0.0022	0.1236	0.0059	0.0188	0.0005	72.0	104.9	118.3	5.3	120.0	3.0
PM211TW123_51	0.62	0.0531	0.0022	0.1369	0.0061	0.0192	0.0005	332.6	91.4	130.3	5.4	122.7	3.0
PM211TW123_52	0.65	0.0474	0.0013	0.1277	0.0038	0.0198	0.0005	67.8	64.2	122.0	3.5	126.1	2.9

续表 4

样品名	Th/U	同位素比值						年龄(Ma)					
		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
PM211TW123_53	0.71	0.0476	0.0018	0.1227	0.0049	0.0183	0.0004	77.3	87.4	117.6	4.4	116.7	2.8
PM211TW123_54	0.55	0.0516	0.0042	0.1322	0.0111	0.0190	0.0006	265.8	174.7	126.1	10.0	121.4	3.6
PM211TW123_55	1.21	0.0450	0.0021	0.1235	0.0062	0.0199	0.0005	0.1	54.9	118.2	5.6	127.2	3.2
PM211TW123_56	0.65	0.0502	0.0018	0.1302	0.0050	0.0188	0.0005	202.5	80.9	124.3	4.5	120.2	2.9
PM211TW123_57	0.62	0.0501	0.0014	0.1306	0.0039	0.0190	0.0005	198.3	62.2	124.6	3.5	121.4	2.8
PM211TW123_58	0.63	0.0506	0.0020	0.1327	0.0056	0.0196	0.0005	222.5	89.2	126.5	5.1	125.3	3.1
PM211TW123_59	0.72	0.0420	0.0033	0.1148	0.0093	0.0181	0.0005	0.1	0.0	110.3	8.5	115.6	3.1
PM211TW123_60	1.20	0.0492	0.0023	0.1297	0.0064	0.0193	0.0005	158.4	106.5	123.8	5.8	123.0	3.1
PM211TW123_61	1.46	0.0603	0.0030	0.1524	0.0079	0.0182	0.0005	614.0	102.8	144.0	7.0	116.2	3.0
PM211TW123_62	0.72	0.0470	0.0016	0.1213	0.0045	0.0186	0.0004	50.4	81.0	116.3	4.1	118.8	2.8
PM211TW123_63	0.83	0.1217	0.0060	0.3051	0.0161	0.0188	0.0005	1980.7	84.7	270.4	12.6	119.9	3.4
PM211TW123_64	0.81	0.0477	0.0016	0.1172	0.0043	0.0181	0.0004	83.2	79.5	112.5	3.9	115.4	2.7
PM211TW123_65	0.66	0.0480	0.0015	0.1205	0.0041	0.0187	0.0004	98.3	74.0	115.6	3.7	119.2	2.8

注:测年样品由中国地质科学院国家地质实验测试中心完成。

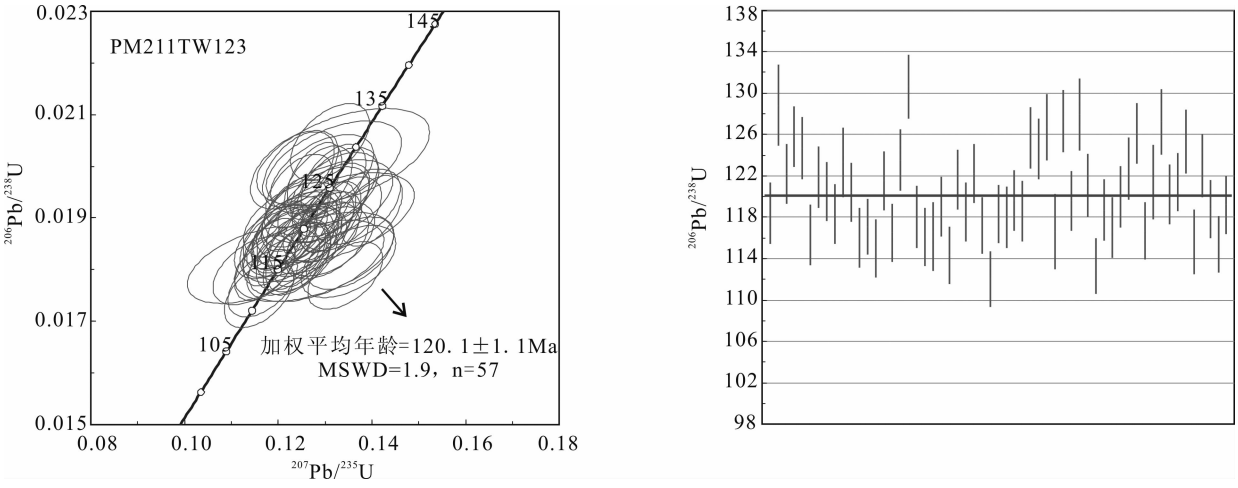


图 9　龙江盆地光华组凝灰质页岩的锆石 U-Pb 谐和图和权重图(PM211TW123)

Fig. 9　Zircon U-Pb concordia and weight diagram of tuffaceous shale from Guanghua Formation in Longjiang basin

对样品 PM211TW123 进行了 65 个测试点分析,锆石的阴极发光 CL 图像(图 7b)显示锆石均呈自形—半自形,多呈短柱状,粒径 70～90μm,长宽比值多为 3∶2,具有清晰的振荡环带。具有较高的 Th/U 比值(0.46～2.44),反映了岩浆成因锆石的特点。测年结果显示,57 个颗粒全部位于谐和线上及其附近(图 9a),碎屑锆石年龄高度集中,显示一个峰值,$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为 120.1±1.1Ma,表明该时期的沉积物来着同一个物源,同时也代表光华组中段顶部的沉积年龄。

锆石 U-Pb 同位素测试结果显示,龙江地区热河生物群的生存时限应为 125.4±1.4Ma 至 120.1±1.1Ma 之间,跨约 500 万年,对应国际地层表的早白垩世阿普特阶早期,与生物地层学所显示的地质时代基本吻合。

4　讨论

根据光华组建组剖面的生物地层学和同位素年代学研究,热河生物群辐射到大兴安岭中段龙江地区应为早白垩世中期,并得到快速发展,期间偶有火山喷发作用,但规模较小,反而提供了丰富的矿物质,促进了热河生物群的发展,即从阿普特期早期延续至阿普特期中期(即从 125.4±1.4Ma 至 120.1±1.1Ma),跨越 500 万年,为龙江盆地热河生物群最为繁盛期,而到了阿普特期晚期,龙江盆地光华组生物仅零星出现。另外张超(2018 待刊)取自光华组顶部的流纹岩年龄为 116.7Ma,甘河组底部玄武岩年龄为 114.3Ma,由此可见大规模的火山喷发发生在早白垩世阿普特期末期,也佐证了龙江盆地热河生物群生存时期最晚不超过阿普特期末期。

龙江地区热河生物群普遍以小个体生物存在，绝大多数叶肢介化石保存十分完整，两个壳瓣多重叠在一起埋藏，叶肢介外模上的网纹清晰明显。介形类以单瓣保存者居多，亦可见完整壳体，介形类小刺印痕保存完好，成年个体与未成年个体普遍共生，并见双壳类和腹足类与介形类共生，主要赋存于暗色黏土岩、凝灰质页岩和泥质页岩中，推测该生物组合属于原地或近原地埋藏类群，其沉积环境为古湖泊中的低能水体环境或比较宁静的水体环境，显示水体含盐度为微咸水—淡水(Zhang Lijun et al.，1987；Wang Si'en，1999；Yang Yufang et al.，2009)。世界上淡水虾类数量较多，但是化石发现很少，保存完好的更是寥寥无几。龙江地区热河生物群中的淡水虾类化石发现较多，而且保存较好，主要以小型的四节辽宁洞虾类为主，个体身长一般为15～20mm，比现生洞虾(7.5mm)大得多，适应生境范围大，湖泊边缘浅水域和深水域均能生存(Wang Wuli et al.，2004；Shen Yanbin et al.，1999)。此外光华组地层中可见蜉蝣目、蜻蜓目、半翅目、同翅目、直翅目、鞘翅目、蛇蛉目等昆虫化石，类比现生昆虫类，主要生活在湖泊边缘或潮湿的沼泽地带(Zhang Junfeng et al.，1992；Ren Dong et al.，1995；Liu Pingjuan et al.，2009)，龙江地区热河生物群中以狼鳍鱼为大型动物，多群居方式生存，营淡水生活，以浮游生物、小昆虫为食，并常与叶肢介、三尾拟蜉蝣共存，与其他热河生物群生物形成生物链，构成良好的生态系统，保持该时期水域的生态平衡。由此推测，龙江盆地热河生物群的古环境应为淡水湖泊环境。

陆生植物群主要有节类、真蕨类、银杏类、茨康类、苏铁类、本内苏铁类、化石果类和少量松柏类、买麻藤类组成(Zhang Yujin et al.，2016)。*Equisetum* 多生存于水边或直接生长在水中(Xu Ren，1982；Watson，1983，1990)，*Equisetites* 块茎的存在说明气候有季节性变化，并指示温暖潮湿气候环境(Watson，1996；Deng Shenghui，2007)。真蕨类在光华组植物群中比较发育，均为矮小草本植物的营养叶，与现生真蕨类相似，一般生长在沼泽或灌木丛下，喜欢潮湿环境(Deng Shenghui et al.，2006)。龙江盆地植物群可见一定数量的苏铁类及本内苏铁类植物，为热带及亚热带较繁盛的植物，裸子植物花粉中双气囊类松柏类花粉占优势，表明该植物群应处于比热带、亚热带凉爽的温暖的气候环境(Deng Shenghui et al.，1995；Ding Qiuhong et al.，2003)。银杏类和茨康类植物的大量存在，叶片均为掌型、深裂，推测与现生银杏习性类似，属落叶乔木或灌木，表明植物群生长在具有明显季节性的气候带(Chen Fen et al.，1988；Cao Zhengrao，1992；Ding Qiuhong et al.，1997)。少量旱生买麻藤类植物(*Ephedrites*)的存在，反映存在季节性半干旱的气候(Guo Shuangxing et al.，2000；Rydin C et al.，2006)。因此龙江地区光华组植物群反映该时期古气候处于温暖湿润的季节性变化的暖温带，并伴有短暂的半干旱气候。

另外根据笔者前期对光华组地层地球化学研究(Zhang Yujin et al.，2017)，龙江盆地早白垩世整体为干燥炎热的气候特点，光华组地层反映出早期为干热气候，中期为温湿气候，后期为干热气候特点。

综上所述，龙江地区热河生物群生存的古环境应为分布在山间低洼处的湖泊，可能是间歇性或季节性的湖盆，岩石中的凝灰质成分说明湖盆发育期伴随着小规模的火山喷发作用，各种生物门类相互依存，保持着良好的生态平衡；古气候应处于温暖湿润的季节性变化的暖温带，并伴有短暂的半干旱气候。

5 结论

(1)龙江盆地热河生物群门类丰富，新采集的动植物化石包括叶肢介、介形类、双壳类、腹足类、鱼虾类、昆虫类、植物群和孢粉等，丰富了大兴安岭中段热河生物群的生物类别，并借此探讨了光华组各生物门类的生物地层，为研究热河生物群的演化和辐射提供了基础资料。

(2)龙江盆地热河生物群生存的时代为125.4±1.4Ma至120.1±1.1Ma，大致跨越500万年，反映龙江盆地热河生物群繁盛于阿普特期早期至阿普特期中期。

(3)龙江地区热河生物群生存的古环境可能是间歇性或季节性的湖泊环境；古气候应处于温暖湿润的季节性变化的暖温带，并伴有短暂的半干旱气候。

致谢：本文所涉及的同位素样品数据由国家试验测试中心分析测试，岩石地球化学数据由沈阳地质调查中心实验室分析测试，古生物化石鉴定得到了沈阳地质矿产研究所王五力研究员、张立君研究员、郑少林研究员无私帮助和指导，另外孢粉化石由吉林大学张淑琴研究员鉴定，昆虫化石由沈阳师范

大学刘玉双教授鉴定,一并在此表示衷心的谢意!

注　释

❶ 沈阳地质调查中心. 2011. 松辽外围中新生代盆地群油气地质综合调查成果报告(内部资料), 114～120.

❷ 黑龙江区测队. 1972. 1∶20 万扎赉特旗幅(L-50-09)区域地质调查报告.

References

Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. 1993. Regional Geology of Heilongjiang Province. Beijing: Geological Publishing House, 1～734.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. 1997. Rock Stratigraphy of Heilongjiang Province. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1～298.

Cao Zhengrao. 1992. Fossil Ginkgophytes from chengzihe formation in Shuangyashan-Suibin region of eastern Heilongjiang. Acta Palaeontologica Sinica, 31(2): 232～248.

Chen Fen, Yu Xiangying, Ren Shouqin, Wu Chonglong. 1988. Early Cretaceous flora and coal-bearing strata in Fuxin and Tiefa basin, Liaoning. Beijing: Geological Publishing House, 1～180.

Chen Peiji. 2012. Cretaceous conchostracan biostratigraphy of China. Journal of Stratigraphy, 36(02): 300～313.

Chen Shuwang, Ding Qiuhong, Zheng Yuejuan, Li Yongfei, Zhang Jian, Wang Jie, Fang Hui, Zhong Qing. 2013. New areas and series of strata on the periphery of Songliao Basin: the progress and recognition based on foundational geological survey for oil and gas resources. Geological Bulletin of China, 32(8): 1147～1158 (in Chinese with English abstract).

Deng Shenghui, Lu Yuanzheng. 2006. The Mesozoic dicksoniaceous ferns: Characteristics, distribution, origin and evolutionary trend. Global Plant Letters, 1(1): 9～29.

Deng Shenghui, Chen Fen. 2001. The early Cretaceous filicopsida from Northeast China. Beijing: Geological Publishing House, 1～249.

Deng Shenghui, Liu Yongchang, Yuan Shenghu. 2004. Fossil plants from the late Middle Jurassic in Yabula basin, western Neimengol, China. Acta Palaeontologica Sinica, 43(2): 205～220

Deng Shenghui, Ren Shouqin, Chen Fen. 1997. Early Cretaceous flora of Hailaerian, Inner Mongolia, China. Beijing: Geological Publishing House, 1～118.

Deng Shenghui. 1995. Early cretaceous flora of Huolinhe Basin, Inner Mongolia Northeast China. Beijing: Geological Publishing House, 1～125.

Deng Shenghui. 2007. Palaeoclimatic implications of main fossil plants of the Mesozoic. Journal of Palaeogeography, 9(6): 559～574.

Ding Qiuhong, Chen Shuwang, Shang Ling, Li Yongfei, Wang Jie. 2014. New understanding of the lower cretaceous longjiang formation in the eastern daxinganling region. Geology and Resources, 23(3): 215～234 (in Chinese with English abstract).

Ding Qiuhong, Zhang Lidon, Guo Shengzhe, Zhang Changjie, Peng Yandong, Jia Bin, Cheng Shuwang, Xing Dehe. 2003. Study on the Paleoecology of yixian formation in beipiao area, western Liaoning province, China. Geology ang Resources, 12(1): 9～18(in Chinese with English abstract).

Fan Chenzi, Hu Mingyue, Zhao Linghao, Sun Dongyang, Zhan Xiuchun. 2012. Advances in in situ microanalysis of U-Pb zircon eochronology using laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry. Rock and Mineral Analysis, 31(1): 29～46(in Chinese with English abstract).

Guo Shuangxing, Wu Xiangwu. 2000. Ephedrites from latest Jurassic Yixian formation in western Liaoning, northeast China. Acta Palaeontologica Sinica, 39(1): 81～91.

Hao Baiwu, Luan Xinli, Ge Liangsheng, Zhang Xiaoli, Xu Daoxue, Yang Shihai, Li Xiao, Cai Wen, Han Jinfeng. 2017. LA-ICP-MS U-Pb ages, geochemical features of the Dong'an alkali feldspar granites in Xunke county, Heilongjiang province and their metallogenetic signification for the Mo-Pb-Zn-Polymetal deposit. Geological Review, 63(6): 1664～1684 (in Chinese with English abstract).

Huang Wei. 2016. The discovery of Jehol Biota and fossil plants from southeastern Jilin, China. PhD dissertation. Jilin University, 1～206.

Ji Qiang. 2002. On the Mesozoic Jehol Biota of China. Geological Review, 48(3): 290～296 (in Chinese with English abstract).

Kalsbeek F, Frei D, Affaton P. 2008. Constraints on provenance, stratigraphic correlation and structural context of the Volta basin, Ghana, from detrital zircon geochronology: An Amazonian connection. Sedimentary Geology, 212: 86～95.

Li Yongfei, Gao Xiaoyong, Bian Xiongfei, Chen Shuwang, Ding Qiuhong. 2013. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the Mesozoic volcanic rocks from Longjiang basin in northern Da Hinggan Mountains and their geological implications. Goelogical Bulletin of China, 32(8): 1195～1211(in Chinese with English abstract).

Li Zishun, Wang Si'en, Yu Jingshan, Huang Huaizeng, Zheng Shaolin, Yu Xihan. 1982. The classification of the upper Jurassic in north China and its bearing on the Jurassic-Cretaceous boundary. Acta Geologica Sinica, 1982, 4: 57～73 (in Chinese with English abstract).

Liu Pingjuan, Huang Jiandong, Ren Dong. 2009. Insectcommunity palaeocology of the Yixian formation in northern Hebei and western Liaoning. Journal of Environmental Entomology, 31(03): 254～274(in Chinese with English abstract).

Nelson J, Gehrels G. 2007. Detrital zircon geochronology and provenance of thesoutheastern Yukon-Tanana terran. Canadian Journal of Earth Sciences, 44: 297～316.

Niu Shaowu, Sun Chunlin, Zhang Fucheng, Li Wenge, Xu Fei, Li He, Xu Yankang, Song Tianjiao. 2015. Local fossil assemblege of the rehol Biota and its geological significance in Chengde

area, Hebei province, China. Geological Survey and Research, 38(04): 241～247+3(in Chinese with English abstract).

Pang Qiqing, Li Peixian, Tian Shugang, Liu Yongqing. 2002. Discovery of ostracods in the dabeigou and dadianzi formations at Zhangjiagou, Luanping county, northern Heibei province of China and new progress in the biotratigraphic boundary study. Geological Bulletin of China, 21(06): 329～338(in Chinese with English abstract).

Pang Qiqing, Tian Shugang, Li Peixian, Niu Shaowu, Liu Yongqing. 2006. Ostracod biostratigraphy of the dabeigou and dadianzi formations and Jurassic-Cretaceous boundary in the Luanping basin, northern Hebei, China. Geological Bulletin of China, 25(03): 348～356(in Chinese with English abstract).

Ren Dong, Zhu Huizhong, Lu Youquan. 1995. New Discovery of Early Cretaceous Fossil Insects from Chifeng City, Inner Mongolia. Acta Geoscientica Sinica, 04: 432～439(in Chinese with English abstract).

Rydin C, Wu Shunqing, Friis E M. 2006. Liaoxia Cao et Wu S. Q. Wu(Gnetales): Ephedroids from the early Cretaceous Yixian formation in Liaoning, northeastern China. Plant Systematics & Evolution, 262: 239～265.

Shen Yanbin, Schram F R, Taylor R S. 1999. Liaoningogriphus quadripartitus (Malacostraca: Spelaeogriphacea) from the Jehol biora and notes on its paleoecology. Palaeoworld, 11: 175～185 (in Chinese with English abstract).

Shuvalov V F. 1975. Stratigraphy of Mesozoic deposites of central Mongolia//Zaitsev N S, et al. Stratigraphy of Mesozoic deposits of Mongolia. Transaction of the Joint Soviet-Mongolia Scientific Research Geological Expedition, 13: 50～112.

Sun Ge, Zheng Shaolin, David L. D., Wang Yongdong, Mei Shengwu. 2001. Early angiosperms and their associated flora from western Liaoning,China. Shanghai: Shanghai Science and Technology Education Press, 1～227.

Wang Si'en. 1999. Palaeoecology and Palaeoenvironment of the Jehol Biota. Acta Geologica Sinica, 73(04): 289～301(in Chinese with English abstract).

Wang Wuli, Zhang Lijun, Zheng Shaolin, Zheng Yuejuan, Zhang Hong, Li Zhitong, Yang Fanglin. 2004. A new study on the stratotype and biostratigraphy of the yixian stage in the Yixian—Beipiao region, Liaoning—establishment and study of the stratotype of the Yixian stage. Acta Geologica Sinica, 78 (04): 433～447(in Chinese with English abstract).

Watson J, Alvin KL. 1996. An English Wealden floral list, with comments onpossible environment indicators. Cretaceous Research, 17(1): 5～26.

Watson J, Betten D J. 1990. Arevision of the English Wealden Flora, II. Equisetales. Bulletin of the Natural Museum Geology, 46: 37～60.

Watson J. 1983. Two Wealden species of Equisetites foundin situ. Acta Palaeontologica Polonica, 28: 265～269

Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004. The research of zircons minerageny and its constraints of the interpretation of U-Pb ages. Chinese Science Bulletin, 49(16): 1589～1604(in Chinese with English abstract).

Xu Ren. 1982. The Plant landscape of China's major areas during the geological period. Beijing: Science Publishing House, 1～50.

Yang Yufang, Zhong Jianhua, Zeng Shiqi, Chen Zhipeng, Ji Qingsheng, Liang Gang, Zhang Peng, Gao Baiyuan. 2009. Characteristics of oncolites in the early Cretaceous Qingshankou formation, Songliao basin and its environmental significance. Acta Geologica Sinica, 83(04): 558～569(in Chinese with English abstract).

Zhang Junfeng. 1992. Insect groups and their Paleoecological characteristics in late Mesozoic of Laiyang, Shandong Province. Chinese Science Bulletin, 37(05): 431～434.

Zhang Lidong, Yang Yajun, Zhang Lijun, Guo Shengzhe, Wang Wuli, Zheng Yuejuan, Ding Qiuhong, Cheng Long. 2016. Comparative study on volcanic—sedimentary stratigraphy of Yixian formation in west Liaoning province and dadianzi formation in north Hebei province. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1～331.

Zhang Lijun, Zhang Lidong, Yang Yajun, Guo Shengzhe, Wang Wuli, Zhang Yuejuan, Ding Qiuhong, Cheng Long. 2012. Division of the lower cretaceous yixian formation and its ostracod fossils in Jianchang basin, western Liaoning. Geology and Resources, 21(01): 81～92(in Chinese with English abstract).

Zhang Lijun. 1987. Thelate Jurassic and early Cretaceous ostracoda fossils in northeast China. Chinese Science (Series B), 6(09): 990～999(in Chinese with English abstract).

Zhang Wu, Zheng Shaolin, Zhang Zhicheng. 1980. Plant community.// Archaeological Atlas of Northeast China (2) Mesozoic and Cenozoic volume. Beijing: Geological Publishing House, 140～183.

Zhang Yujin, Wu Xinwei, Yang Yajun, Zhang Chao, Guo Wei, Song Weimin. 2016. Early Cretaceous plant fossils and their paleoenvironment in Longjiang basin on the eastern slope of middle Da Hinggan Mountains. Geological Bulletin of China, 35 (6): 856～865(in Chinese with English abstract).

ZhangYujin, Wu Xinwei, Zhang Chao, Guo Wei, Jiang Bin. 2017. Early Cretaceous Sedimentary Record of Paleoclimate in Longjiang Basin.//China National Institute of Mineral Rock Geochemistry Ninth National Member Congress and the 16th Annual Conference,Xi'an, Shanxi, China. 435.

ZhangYujin, Zhang Chao, Wu Xinwei, Cui Tianri, Yang Yajun, Chen Huijun, Jiang Bin, Guo Wei. 2016. Geochronology and geochemistry of late Paleozoic marine volcanic from the Zhalantun area in northern DaHinggan Mountains and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 90(10): 2706～2720(in Chinese with English abstract).

Zheng Shaolin, Zhang Wu. 1982. Plant fossils from the longzhuagou and jixi groups of eastern heilongjiang province. Chinese Academy of Geological Sciences, Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources published, 5: 277～349(in Chinese with

English abstract).

Zheng Shaolin, Zhang Wu. 1983. Late early Cretaceous flora of Boli basin in Heilongjiang province. Chinese Academy of Geological Sciences, Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources published, 7: 68～98(in Chinese with English abstract).

Zheng Yuejuan, Chen Shuwang, Ding Qiuhong, Li Yongfei, Wang Jie, Zhang Jian, Li Xiaohai, Gao Xiaoyong, Su Fei. 2011. Correlation between yixian formation in western Liaoning and dadianzi and xiguayuan formations in northern Hebei. Geology and Resources, 20(01): 21～26(in Chinese with English abstract).

Zhou Zhiyan, Zheng Shaolin. 2003. The missing link in Ginkgo evolution. Nature, 423: 821～822.

参　考　文　献

曹正尧. 1992. 黑龙江绥滨—双鸭山地区城子河组的银杏类化石. 古生物学报, 31(2): 232～248.

陈芬, 孟祥营, 任守勤, 吴冲龙. 1988. 辽宁阜新和铁法盆地早白垩世植物群及含煤地层. 北京: 地质出版杜, 1～180.

陈树旺, 丁秋红, 郑月娟, 李永飞, 张健, 王杰, 方慧, 钟清. 2013. 松辽盆地外围新区、新层系—油气基础地质调查进展与认识. 地质通报, 32(8): 1147～1158.

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, 1～249.

邓胜徽, 刘永昌, 袁生虎. 2004. 内蒙古西部雅布赖盆地中侏罗世晚期植物群. 古生物学报, 43(2): 205～220.

邓胜徽, 任守勤, 陈芬. 1997. 内蒙古海拉尔地区早白垩世植物群. 北京: 地质出版社, 1～118.

邓胜徽. 1995. 内蒙古霍林河盆地早白垩世植物群. 北京: 地质出版社, 1～125.

邓胜徽. 2007. 中生代主要植物化石的古气候指示意义. 古地理学报, 9(6): 559～574.

丁秋红, 陈树旺, 商翎, 李永飞, 王杰. 2014. 大兴安岭东部地区下白垩统龙江组新认识. 地质与资源, 23(3): 215～234.

丁秋红, 张立东, 郭胜哲, 张长捷, 彭艳东, 贾斌, 陈树旺, 邢得和. 2003. 辽西地区义县组植物群古生态研究. 地质与资源, 12(1): 9～18.

范晨子, 胡明月, 赵令浩, 孙冬阳, 詹秀春. 2012. 锆石铀－铅定年激光剥蚀－电感耦合等离子体质谱原位微区分析进展. 岩矿测试, 31(1): 29～46.

郭双兴, 吴向午. 2000. 辽宁西部晚侏罗世晚期义县组的似麻黄属植物. 古生物学报, 39(1): 81～91.

郝百武, 栾欣莉, 葛良胜, 郑小礼, 徐道学, 杨诗海, 李晓, 蔡稳, 韩金锋. 2017. 逊克县东安碱长花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄、地球化学特征及其钼铅锌等成矿意义. 地质论评, 63(6): 1664～1684.

黑龙江省地质矿产局. 1993. 黑龙江省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1～734.

黑龙江省地质矿产局. 1997. 黑龙江省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1～298.

黄薇. 2016. 中国吉林东南部热河生物群的发现及植物化石研究. 吉林大学博士论文, 1～206.

季强. 2002. 论热河生物群. 地质论评, 48(3): 290～296.

李永飞, 郜晓勇, 卞雄飞, 陈树旺, 丁秋红. 2013. 大兴安岭北段龙江盆地中生代火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义. 地质通报, 32(08): 1195～1211.

刘平娟, 黄建东, 任东. 2009. 冀北、辽西义县组昆虫群落古生态分析. 环境昆虫学报, 31(03): 254～274.

牛绍武, 孙春林, 张福成, 李文革, 许飞, 李鹤, 徐延康, 宋天骄. 2015. 冀北承德地区热河生物群化石组合特征及其地质意义. 地质调查与研究, 38(04): 241～247+3.

陈丕基. 2012. 中国白垩纪叶肢介生物地层学. 地层学杂志, 36(02): 300～313.

庞其清, 李佩贤, 田树刚, 柳永清. 2002. 冀北滦平张家沟大北沟组—大店子组介形类的发现及生物地层界线研究. 地质通报, 21(06): 329～338.

庞其清, 田树刚, 李佩贤, 牛绍武, 柳永清. 2006. 冀北滦平盆地大北沟组—大店子组介形类生物地层和侏罗系—白垩系界线. 地质通报, 25(03): 348～356.

任东, 朱会忠, 陆有泉. 1995. 内蒙古赤峰早白垩世昆虫化石的新发现. 地球学报, 04: 432～439.

沈炎彬, Frederick R. Schram, Red S. Taylor. 1999. 热河生物群四节辽宁洞虾及其古生态. Palaeoworld, 11: 175～185.

孙革, 郑少林, D－迪尔切, 王永栋, 梅盛吴. 2001. 辽西早期被子植物及伴生植物群. 上海: 上海科技教育出版社, 1～227.

王思恩. 1999. 热河生物群的古生态与古环境. 地质学报, 73(04): 289～302.

王五力, 张立君, 郑少林, 郑月娟, 张宏, 李之彤, 杨芳林. 2004. 义县—北票地区义县阶标准地层剖面及其生物地层学新研究——义县阶标准地层剖面建立和研究之二. 地质学报, 78(04): 433～447.

吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16): 1589～1604.

徐仁. 1982. 地质时期中国各主要地区植物景观. 北京: 科学出版社, 1～50.

杨玉芳, 钟建华, 曾石岐, 陈志鹏, 吉庆生, 梁刚, 张鹏, 高柏原. 2009. 松辽盆地早白垩世青山口组核形石的特征及其环境意义. 地质学报, 83(04): 558～569.

张俊峰. 1992. 山东莱阳中生代晚期昆虫群及其古生态特征. 科学通报, 37(05): 431～434.

张立东, 杨雅军, 张立君, 郭胜哲, 王五力, 郑月娟, 丁秋红, 成龙. 2016. 辽西义县组－冀北大店子组火山—沉积地层对比研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1～331.

张立君, 张立东, 杨雅军, 郭胜哲, 王五力, 郑月娟, 丁秋红, 成龙. 2012. 辽西建昌盆地下白垩统义县组的划分及其介形类化石. 地质与资源, 21(01): 81～92.

张立君. 1987. 中国东北地区晚侏罗世和早白垩世介形虫化石组合. 中国科学(B辑), 6(09): 990～999.

李子舜, 王思恩, 于菁珊, 黄怀曾, 郑少林, 于希汉. 1982. 中国北部上侏罗统的划分及其与白垩系的界线——着重讨论龙爪沟群、鸡西群、热河群的划分和对比. 地质学报, 04: 347～363.

张武, 郑少林, 张志城. 1980. 植物界. 见: 东北地区古生物图册(二)中新生代分册. 北京: 地质出版社, 140～183.

张渝金, 吴新伟, 郭威, 张超, 江斌. 2017. 大兴安岭中段龙江盆地

早白垩世古气候的沉积记录//中国矿物岩石地球化学学会第九次全国会员代表大会暨第16届学术年会. 中国陕西西安, 435.

张渝金, 吴新伟, 杨雅军, 张超, 郭威, 宋维民. 2016. 大兴安岭中段东坡龙江盆地早白垩世植物化石新材料. 地质通报, 35(6): 856～865.

张渝金, 张超, 吴新伟, 崔天日, 杨雅军, 陈会军, 江斌, 郭威, 马永非. 2016. 大兴安岭北段扎兰屯地区晚古生代海相火山岩年代学和地球化学特征及其构造意义. 地质学报, 90(10): 2706～2720.

郑少林, 张武. 1982. 黑龙江省东部地区龙爪沟群及鸡西群植物化石. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 5: 277～349.

郑少林, 张武. 1983. 黑龙江省勃利盆地早白垩世中晚期植物群. 中国地质科学院沈阳地质矿产所所刊, 7: 68～98.

郑月娟, 陈树旺, 丁秋红, 李永飞, 王杰, 张健, 李晓海, 郜晓勇, 苏飞. 2011. 辽西义县组与冀北大店子组、西瓜园组的对比. 地质与资源, 20(01): 21～26.

Fossil Assemblage and Survival Timing of Jehol Biota in the Longjiang Basin, Middle of Da Hinggan Mountains: New Evidence from Biostratigraphy and Chronostratigraphy

ZHANG Yujin[1,2], YANG Yajun[2], CAI Nao[3], WU Xinwei[1,2], ZHANG Chao[1,2], GUO Wei[2]

1) *College of Earth Science, Jilin University, Changchun* 130061, *Jilin, China*;

2) *Shenyang Center of Geological Survey, CGS, Shenyang* 110034, *Liaoning, China*;

3) *Stony Brook University, Stony Brook, NY* 11794, *USA*

Abstract

The Guanghua Formation in Longjiang Basin deposited continuously and is exposed in integrity, with abundant fossils of Jehol Biota, making it one of the key sections to probe the origin, evolution and radiation of the Jehol Biota in the middle of Da Hinggan Mountains. This study carried out a precise measurement for the section of Guanghua Formation. It is believed that the Guanghua Formation conformably overlies andesitic welded tuff of the Longjiang Formation, with part covered unconformably by basalt of the Ganhe Formation. Three lithological units have been recognized from bottom to top. Systematic sampling and identification for corresponding biota fossils were carried out, and this has greatly enriched the biota category of Jehol Biota in the middle of Da Hinggan Mountains. Based on newly collected fossils and previously published data, authors established the assemblages of various fossils in the middle of Da Hinggan Mountains, which include limbs, ostracods, plant fossils, insects and others, and further discussed their characteristics. The LA-ICP-MS U-Pb zircon chronology study of the lower to middle sections of Guanghua Formation reveals that the Jehol Biota in the Longjiang Basin occurred at time of 125.4±1.4Ma to 120.1±1.1Ma, with an span of roughly about 500 million years, reflecting that the Jehol Biota throve from early to middle Apter period. According to paleontological characteristics and our previous studies, it can be concluded that the paleoenvironment of the Jehol Biota in the Longjiang Basin may be the intermittent or seasonal lakes, and the paleoclimate should be in the warm and humid seasonally-changing warm zone, accompanied by the short term arid climate.

Key words: Jehol Biota; biostratigraphy; chronostratigraphy; Longjiang Basin; Middle of Da Hinggan Mountains