

(단 보)

중국 운남성 부근에서 발견된 초기 캄브리아기 청지앙동물군

이 창 진*

충북대학교 사범대학 과학교육학부, 361-763 충북 청주시 흥덕구 개신동

Early Cambrian Chengjiang Fauna from Yunnan Province, China

Chang Zin Lee*

School of Science Education, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

Abstract: Recently lots of the Early Cambrian fauna were described from the Yunnan Province of China. The fauna occurs from the Maotiangshan shale that dated between 525 and 520 ma, which is about 10-20 million years earlier than the Burgess Shale fauna of Canadian Rocky Mountain and Sirius Passet fauna in North Greenland. The Chengjiang fauna comprises an extremely diverse faunal assembly, and soft body parts of the fauna are well preserved. Such condition probably resulted from repeated rapid burial environment that prevented the bodies from destruction by currents, bioturbation, and biochemical activities.

Keywords: Yunnan Province, Chengjiang fauna, Early Cambrian

요 약: 최근 캄브리아기 초기에 해당하는 동물군 화석이 중국 운남성 부근에서 다량 발견되었다. 이 동물군 화석은 5억 2천만 년 전에서 5억 2천 5백만 년 전의 연대를 가진 마오탕산 셰일에서 산출되며, 캐나다 로키의 버제스셰일동물군과 그린란드의 시리우스파세트동물군보다 약 1천만년 내지 2천만년 더 오래된 동물군으로 판단된다. 청지앙동물군은 아주 다양한 동물 화석으로 구성되며, 몸체의 약한 부분이 잘 보존되어 있다. 이러한 조건은 유수, 생란 작용, 생화학 작용을 받지 않는 환경 즉 반복된 빠른 퇴적작용에 의해서 화석화된 것이다.

주요어: 운남성, 청지앙동물군, 초기 캄브리아기

캄브리아기 생물군의 폭발적 다양성

지질시대를 통하여 지구상에 생물이 최초로 출현한 시기는 약 35억 년 전이며, 이때부터 남조류가 나타나 생장하기 시작하면서 스트로마톨라이트가 형성되었다. 그 후 시생대와 원생대 중기까지는 남조류가 쌓여 형성된 스트로마톨라이트 화석 외에 별다른 화석이 발견되지 않아 생물의 존재가 미미했던 것으로 추정하고 있다.

원생대 후기(약 7억 년 전) 동물 화석(에디아카라 동물군, Ediacaran Fauna)이 서부 호주 에디아카라 언덕에서 처음 발견되어 기재된 후 현재까지 세계 여러 지역 (Namibia, Ireland, England, northwestern

Russia, South Australia, Newfoundland, Canadian Northwest Territories)에서 이와 유사한 화석 산출이 보고되고 있다.

1909년 캐나다 로키산맥의 요호 국립공원에서 중기 캄브리아기를 지시하는 버제스셰일 동물군(Burgess Shale Fauna, 505 ma) 화석이 발견되었는데 그 화석 기록을 살펴보면 단세포 생물에서 현재 살고 있는 생물과 같은 조직과 모양을 가진 생물까지 다양하게 발견된다. 그리고 그 화석의 양과 종류가 엄청날 뿐 아니라 다양한 다세포 동물 화석이 풍부히 발견되면서 과학자들 사이에 그 원인에 대한 의문점이 제기되었다(Simon, 1998).

1984년 북부 그린란드의 코흐 피요르드(J.P. Koch Fjord) 동쪽 해안에서 초기 캄브리아기(518-505 Ma)에 해당하는 시리우스파세트동물군(Sirius Passet fauna)이 그린란드 지질조사소의 히긴스(A. Higgins)에 의하여 발견되었다. 그 후 10,000여점의 화석 표본이

*Corresponding author: leecz@cbu.ac.kr

Tel: 82-43-261-2737

Fax: 82-43-271-0526

수집되었으며, 현재도 화석을 계속 발굴하고 분류하고 있다. 이 동물군은 버제스세일동물군에 비해 천만 년에서 천오백만년 더 오래된 화석으로 밝혀졌으며, 다음에서 서술할 청지양동물군에 비하면 약 1000만 년 후기에 살았던 동물군으로 알려져 있다. 시리우스 파세트동물군에 대한 연구는 현재 진행 중에 있으며, 많은 수의 절지동물과 해면동물이 기재된 바 있다 (Martin et al., 2000).

원생대 말기의 에디아카라동물군은 단순하고 진화가 거의 되지 않은 생물이었는데 고생대 캄브리아기 초기에서부터 폭발적으로 다양한 동물들이 나타났다. 이러한 지질학적 사건을 “캄브리아기생물군대폭발 (Cambrian Biota Explosion, Conway-Morris, 2003)”로 명명한 후 여러 가지 가설을 세워서 연구를 계속하고 있다. 그러나 현재까지는 캄브리아기 초기에서부터 화석이 엄청나게 많이 발견되는 원인에 대하여 명확한 해답을 내놓지 못하고 다만 화석군이 발견된 퇴적층의 퇴적 환경과 화석군의 생물학적 분류를 수행하는 정도에 그치고 있다.

청지양동물군

최근 고생대 초기 캄브리아기에 해당하는 화석이 중국 운남성 부근에서 다량 발견되었으며, 이 동물군의 이름을 산출지의 명칭을 따서 청지양동물군(澄江物群; Chengjiang Fauna, 525-520 Ma)이라 명명하였다. 이 동물군은 1984년 중국 운남성(雲南省; Yunnan Province) 등강현(澄江縣; Chengjiang County)의 모천산 언덕에 있는 하부 캄브리아기의 한 이암층에서 발견되었다. 그리고 청지양동물군에 대한 중요성이 밝혀지고 연구가 활발하게 이루어진 것은 2000년 이후이다. 이 동물군은 버제스세일동물군 및 시리우스 파세트동물군과 함께 과학자들의 지대한 관심을 끌고 있다. 청지양동물군이 과학자들에 의하여 관심을 끄는 이유는 첫째 캐나다 버제스세일동물군과 시리우스 파세트동물군보다 오래된 고생대 초기의 동물군이라는 점, 둘째 생물 화석의 종류와 양이 풍부하게 산출될 뿐 아니라 보존 상태가 아주 양호하여 단단한 부분은 물론 부드러운 몸체까지 잘 보존되어 있다는 점이다.

이 동물군 화석의 연구와 버제스세일동물군 및 시리우스파세트동물군의 연구를 통하여 그동안 의문점으로 남았던 캄브리아기 생물군 대폭발에 대한 단서를

얻을 수 있을 것으로 기대하고 있다. 그리하여 세계 여러 나라의 과학자들이 관심을 가지고 중국 운남성의 청지양동물군 화석지인 모천산(帽天山; Maotianshan)으로 모여 들고 있다.

현재 그 연구의 중심 연구기관은 중국 과학원 남경지질고생물 연구소이며, 중국 정부로부터 막대한 연구 자금을 지원받아 국제적인 연구 모임을 가지고 활발하게 활동하고 있다. 여기서 발견된 화석을 중심으로 남경지질고생물연구소에서는 2005년 최신 기법을 이용한 고생물박물관을 개관하여 연구는 물론 대중 교육과 학교 교육을 활발하게 수행하고 있다.

1. 과학적 중요성

청지양동물군의 연구를 위하여 세계 우수한 고생물 지질학 전문가와 학자가 모천산에 모여들어 활발한 연구가 이루어졌으며, 그 결과가 Science와 Nature를 비롯한 세계적으로 유명한 과학전문 학술지에 발표되었다(Shu et al., 1999; Shu et al., 2001; Xian-guang, et al., 2002; Zhang et al., 2003; Conway-Morris, 2003; Shu et al., 2003; Shu et al., 2004; Hou et al., 2004; Zhang and Hou, 2004; Waloszek and Maas, 2005; Shu et al., 2006).

청지양동물군은 전기-중기 캄브리아기의 동물군으로 버제스세일동물군과 시리우스파세트동물군보다 약 1000-2000만년은 앞서서 살았던 동물로 밝혀졌다. 이 동물군은 가장 오래되고 다양한 후생동물(Metazoa) 동물군이기 때문에 원생대와 고생대의 변천과정을 해석하는데 중요할 뿐 아니라 캄브리아기 생물군 대폭발을 지지하는 가장 좋은 증거로 인정받고 있다. 그리고 초기 다세포 동물의 진화를 이해할 수 있고 모든 척추동물을 포함한 척삭동물문(脊索動物門, Phylum CHORDATA)의 진화를 해석하는데 중요한 자료로 이용되고 있다. 특히 반색동물(半索動物)의 일종인 *Yamanozoon lividum*(Fig. 1)의 발견으로 반색동물의 출현 시기를 오르도비스기에서 초기 캄브리아기로 앞당겨 놓았다. 2006년 6월 까지 19문(門) 180여 종(種)의 청지양동물군이 기재되었으며, 이중 절반이 절지동물문이고 나머지는 다양한 동물 문으로 이루어져 있다(Appendix 1).

청지양동물군에는 보존 상태가 양호한 삼엽충이 발견된다. 특히 초기 삼엽충의 일종인 *Eoredlichia intermedia*는 안테나까지 화석으로 잘 보존되어 있어 생존 당시의 생태와 퇴적 환경을 복원하는데 귀중한

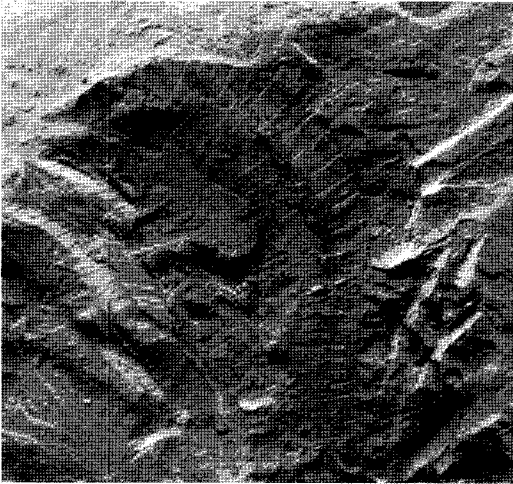


Fig. 1. *Yanmanozoon lividum*, Earliest Known Hemichordate with 23 mm long. from Chengjiang Fauna (http://www.fossilmuseum.net/Fossil_Sites/Chengjiang.htm).

자료로 사용된다. 남경자연사박물관에서는 이를 이용하여 삼엽층의 서식환경을 복원하여 전시하고 있다 (Fig. 2).

2. 보전과 퇴적 환경

청지양동물군은 50 m 두께의 이암층에서 산출되며, 이 층은 운남성 일대 수 십 만 km²의 범위에 분포되어 있다. 화석은 2-3 cm 이하의 얇은 이암 엽층에서 발견되며, 산화철이 풍부한 알루미늄규산염 막으로 보존되어 있다. 청지양동물군은 다양하고 많은 동물 화석으로 구성되어 있는데 이 동물군이 동일 지층 내에서 발견되는 것으로 보아 여러 종류의 동물이 함께 서식했던 것으로 보인다. 그리고 동물의 종류로 보아 햇빛이 잘 들고 산소의 공급이 원활한 얕은 해저 환경에서 살았을 것으로 해석된다.

일반적으로 다양한 동물이 서식할 경우 먹이 사슬

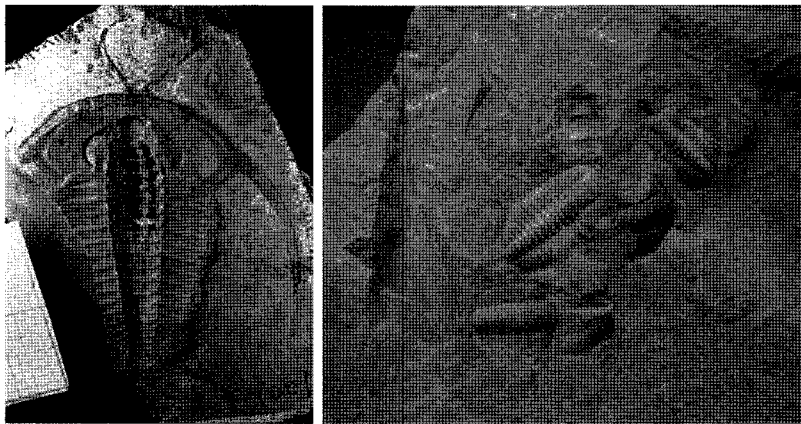


Fig. 2. Early Cambrian Chengjiang trilobites (left; *Eoredlichia intermedia*, right; *Palaeolemus lantenoisi*) (http://www.fossilmuseum.net/Fossil_Sites/Chengjiang.htm)(http://www.fossilmuseum.net/Fossil_Sites/Chengjiang.htm).

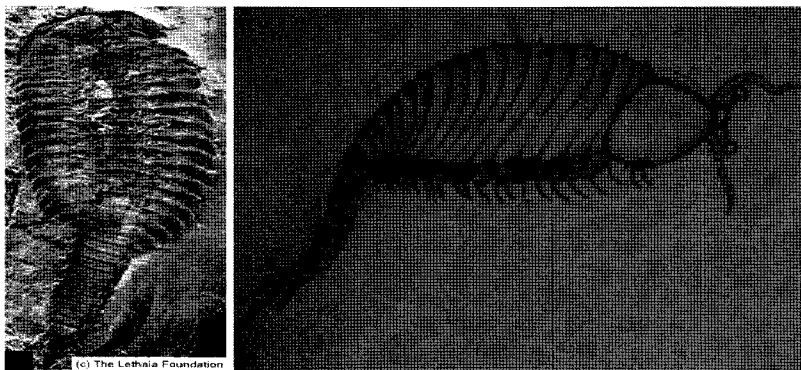


Fig. 3. *Fuxianhuia protensa*: A kind of early Cambrian Chengjiang arthropod with 100 mm long. Left; fossil, right; reconstructed model. The systematic classification is still in debate, with some considering it a basal euarthropod (<http://palaco.gly.bris.ac.uk/Palaeofiles/Lagerstatten/chngjang/animalia.html>).

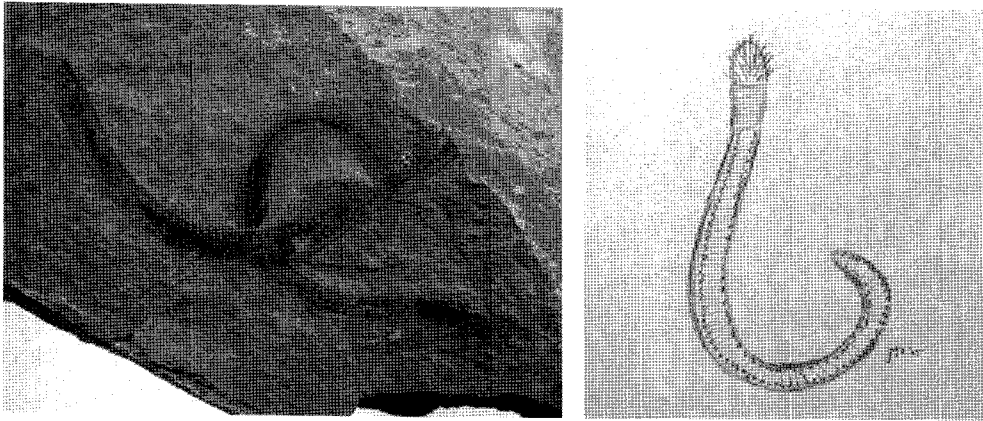


Fig. 4. *Cricocosmia jinningensis*: A kind of early Cambrian Chengjiang fauna (phylum Nematomorpha) worm with about 50 mm long. Left; fossil, right; reconstructed model (http://www.fossilmuseum.net/Fossil_Sites/Chengjiang.htm).

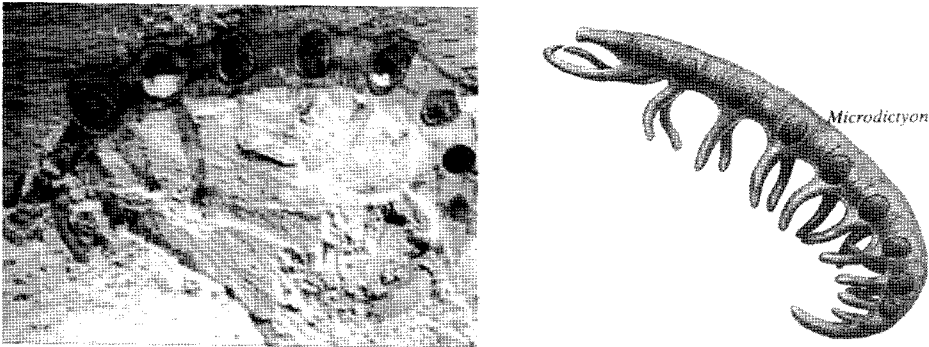


Fig. 5. *Microdictyon sinicum*: A kind of early Cambrian Chengjiang fauna (pylum Lobopodia) with about 23 mm long. Left; fossil, right; reconstructed model (http://www.fossilmuseum.net/Fossil_Sites/Chengjiang.htm).

이 잘 이루어지고 산소가 풍부하여 유기물이 쉽게 분해되어 연약한 부분까지 화석으로 보존되기 어렵다. 그러나 연약한 몸체를 가진 청지양동물군(Figs. 3, 4, 5)이 화석으로 잘 보존된 것은 저탁류의 주기적인 퇴적작용으로 이 동물군이 죽은 후 바로 진흙과 같은 미세한 퇴적물에 의하여 덮이었던 것으로 추측하고 있다.

특히 유선형동물문(類線形動物門, Phylum NEMATOMORPHA)에 속하는 한 종(種)인 *Cricocosmia jinningensis*(Fig. 4)는 몸체 전체가 연약한 부분으로 이루어져 있지만 화석으로 잘 보존되어 있다. 이러한 현상은 외부로부터 화학적 작용이 차단되고 포식자와 부식자의 공격 또는 해류의 침식으로부터 유기물이 보존되었을 때만 나타날 수 있다(Hou et al., 2004). 따라서 청지양동물군이 서식하는 장소는 햇빛이 잘 들고

산소의 공급이 원활하였지만 죽은 후에는 부드러운 퇴적물에 의하여 덮여 부식자와 포식자로부터 안전하게 보존되는 환경에서 화석화된 것으로 해석된다.

사 사

본 연구는 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원(해외 파견교수)에 의하여 연구되었으며, 연구비를 지원해준 충북대학교에 감사한다. 논문을 심사하여 주시고 친절하게 부족한 부분을 지적해 주신 강원대학교의 박수인교수, 한국교원대학교의 김정률교수, 공주대학교의 김종헌교수께 감사드린다. 아울러 자료를 찾고 보완하는데 도움을 준 류춘렬선생에게 감사드린다.

참고문헌

- Conway-Morris, S., 2003, The Cambrian "explosion" of metazoans and molecular biology; would Darwin be satisfied? *The International Journal of Developmental Biology*, 47 (7-8), 505-515.
- Hou, X-G, Aldridge, R.J., Bengstrom, J., Siveter, D.J., and Feng, X-H., 2004, *The Cambrian Fossils of Chengjiang, China: The Flowering of Early Animal Life*. Blackwell Science Ltd., Massachusetts, USA, 248 p.
- Martin, M.W., Grazhdankin, D.V., Bowring, S.A., Evans, D.A.D., Fedonkin, M.A., and Kirschvink, J.L., 2000, Age of Neoproterozoic bilaterian body and trace fossils, White Sea, Russia: Implications for metazoan evolution. *Science*, 288 (5467), 841-845.
- Shu, D.G., Luo, H-L., Conway-Morris, S., Zhang X-L., Hu, S-X., Chen, L., Han, J., Zhu, M., Li, Y., and Chen, L-Z., 1999, Lower Cambrian vertebrates from South China. *Nature*, 402 (6757), 42-46.
- Shu, D.G., Morris, S.C., Han, J., Chen, L., Zhang, X-L., and Zhang, Z.F., 2001, Primitive deuterostomes from the Chengjiang Lagerstätte (Lower Cambrian, China). *Nature*, 414 (6862), 419-424.
- Shu, D.G., Morris, S.C., Zhang, Z.F., Liu, J.N., Han, J., and Chen, L., 2003, A new species of yunnanozoan with implications for deuterostome evolution. *Science*, 299 (5611), 1380-1384.
- Shu, D.G., Morris, S.C., Han, J., Zhang, Z.F., and Liu, J.N., 2004, Ancestral echinoderms from the Chengjiang deposits of China. *Nature*, 430 (6998), 422-428.
- Shu, D.G., Morris, S.C., Han, J., Li, Y., Zhang, X.L., and Hua, H., 2006, Lower Cambrian vendobionts from China and early diploblast evolution. *Science*, 312 (5774), 731-734.
- Simon C.M., 1998, *The crucible of creation: The Burgess Shale and the rise of animals*. Oxford University Press, New York, USA, 276 p.
- Waloszek, D. and Maas, A., 2005, The evolutionary history of crustacean segmentation: a fossil-based perspective. *Evolution and Development*, 7 (6), 515-527.
- Xian-guang, H., Aldridge, R.J., Siveter, D.J., and Xiang-hong, F., 2002, New evidence on the anatomy and phylogeny of the earliest vertebrates. *Proceedings, Biological Sciences*, 269 (1503), 1865-1869.
- Zhang, X.G, Han J., Zhang Z., Liu H., and Shu D.G., 2003, Reconsideration of the supposed naraoiid larva from the Early Cambrian Chngjiang Lagerstätte, South China. *Palaeontology*, 46 (3), 447-66.
- Zhang, X.G and Hou, X.G., 2004, Evidence for a single median fin-fold and tail in the Lower Cambrian vertebrate, *Haikouichthys ercaicunensis*. *Journal of Evolutionary Biology*, 17 (5), 1162-1166.

http://en.wikipedia.org/wiki/Sirius_Passet

<http://www.nigpas.ac.cn/mainpage.htm>

<http://www.nigpas.ac.cn/biaoben/web/jpzs-dengjiang07.htm>

http://www.fossilmuseum.net/Fossil_Sites/Chengjiang.htm

<http://paws.wcu.edu/dperlmutr/earlyfauna.html>

<http://palaeo.gly.bris.ac.uk/Palaeofiles/Lagerstatten/chngjiang/animalia.html>

2006년 12월 26일 접수

2007년 2월 1일 수정원고 접수

2007년 3월 7일 채택

Appendix 1. List of Chengjiang Biota Species by Phylum (Shu et al., 1999; Shu et al., 2001; Xian-guang, et al., 2002; Zhang et al., 2003; Conway-Morris, 2003; Shu et al., 2003; Shu et al., 2004; Hou et al., 2004; Zhang and Hou, 2004; Waloszek and Maas, 2005; Shu et al., 2006)

Kingdom Animalia
Phylum Arthropoda

Acanthomeridion serratum
Alalcomenaeus
Almenia spinosa
Apiocephalus elegans
Branchiocaris yunnanensis
Canadaspis laevigata
Chengjiangocaris longiformis
Chuandianella ovata
Cindarella eucalla
Clypecaris pteroidea
Combinivalvula chengjiangensis
Comptulata inflata
Comptulata leshanensis
Cyathocephalus bispinosus
Dianchia mirabilis
Diplopyge forcipatus
Diplopyge minutus
Dongshanocaris foliiformis
Ercania minuscula
Ercania multinodosa
Forficaris valida
Forticeps foliosa
Fuxianhuia protensa
Glossocaris oculatus
Haikoucaris ercaiensis
Isoxys auritus
Isoxys curvirostratus
Isoxys paradoxus
Jianfengia multisegmentalis
Jianshania furcatus
Jiucunella paulula
Kuamaia lata
Kuamaia muricata
Kuanyangia pustulosa
Kunmingella angustacostata
Kunmingella douvillei
Kunmingella guanshanensis
Kunmingocaris bispinosus
Kuanyangella chenii
Leanchoilia asiatica
Leanchoilia illecebrosa
Liangshanella liangshenensis
Mafangia subscalaria
Mafangocaris multinodosa
Malongella bituerculata
Occacaris oviformis
Odaraia eurypetala
Ovalicephalis mirabilis
Parakunmingella malongensis
Parapaleomerus sinensis
Pectocaris spatiosa
Petalilium latum
Pisinnocaris subconigera
Primicaris larvaformis
Pseudoiulia cambriensis
Pterotum triacanthus
Pygmaclypeatus daiensis

Rectifacies abnormalis
Rhombicalvaria acanthi
Saperion glumaceum
Sidneyia sinica
Sinoburius lunaris
Skiodia aldna
Spinokunmingella typical
Sunella grandis
Squamacula clypeata
Syrhaptis intestinalis
Urokodia aequalis
Tanglangia caudata
Trigoides aclis
Tsunydiscus aclis
Tsunyiella daindongensis
Tuzoia sinensis
Waptia ovata
Wutingella binodosa
Xandarella spectaculum
Yiliangocaris ellipticus
Yunnanocaris megista
Naraoia Misszhouia longicaudata
Naraoia spinosa
Eoredlichia intermedia
Kuanyangia pustulosa
Wutingaspis tingi
Yunnanoccephalus yunnanensis
Palaeolemus lantenoisi

Phylum Brachiopoda

Diandongia pista
Heliomedusa orientalis
Lingulella chengjiangensis
Lingulellotreta malongensis
Longtancunella chengjiangensis

Phylum Chaetognatha

Eognathacantha ercainella

Phylum Cnidaria

Priscapennamarina angusta
Xiangiangia sinica

Phylum Chordata

Cathaymyrus diadexis
Cathaymyrus haikouensis
Haikouella jianshanensis
Haikouella lanceolata
Haikouichthys ercaicunensis
Myllokunmingia fengjiao
Shanocouclava anningense - a Tunicate
Zhongxiniscus intermedius

Phylum Ctenophora

Maotianoascus octonarius
Sinoascus paillatus
Stromatoveris psygmoglena

Phylum Echinodermata

Cotyledion tyloses

Appendix 1. continued

Phylum Hyolitha

Ambrolinevitus maximus
Ambrolinevitus platypluteus
Ambrolinevitus ventricosus
Burithes yunnanensis
Glossolithes magnus
Linevitus billingsi
Linevitus flabellaris
Linevitus opimus

Phylum Lobopodia

Cardiodictyon catemulum
Hallucigenia fortis
Luolishania longicruris
Microdictyon sinicum
Onychodictyon ferox
Paucipodia inermis

Phylum Nematomorpha

Cricocosmia jinningensis
Maotianshania cylindrica
Palaeoscolex sinensis

Phylum Phoronida

Iotuba chengjiangensis

Phylum Porifera

Allantospongia mica
Choia xiaolantianensis
Choiaella radiata
Hazelia sp.
Leptomitella confusa
Leptomitella conica
Leptomitella metta
Leptomitus teretiusculus
Paraleptomitella dictyodroma
Paraleptomitella globula
Quadrolaminiella crassa
Quadrolaminiella diagonalis
Saetaspongia densa
Sirjoflabrum antiquum
Triticispongia diagonalata

Phylum Priapulida

Acosmia maotiania
Archotuba conoidalis
Corynetis brevis
Gantoucunia aspera
Lagenula triolata
Oligonodus specialis
Paraselkirkia jimningensis
Palaeopriapulites parvus
Protopriapulites haikouensis
Sandaokania latinodosa

Selkirkia elongata
Selkirkia sinica
Sicyophorus rarus
Xiaoheiqingella peculiaris
Xishania longgiusula
Yunnanopriapulites halteriformis

Phylum Vetulicolia

Banffia confusa
Didazoon hoae
Vetulicola cuneata
Vetulicola gantoucunensis
Vetulicola rectangularata
Xidazoon stephanus
Yuyuanozoon magnificissimi

Enigmatic fauna

Allonnia phrixothrix
Amiskwia sinica
Anthrotum robustus
Batofasciculus ramificans
Cambrotentacus sanwuiia
Conicula straita
Dinomischus venustus
Discoidea abnormalis
Eldonia eumorpha
Facivermis yunnanicus
Hippotrum spinatus
Jiucunia petalina
Maanshania crusticeps
Macrocephalus elongates
Parvulonoda dubia
Phacatrum tubifer
Phasangula striata
Phlogites brevis
Phlogites longus
Priscapennamarina angusta
Pristitoites bifarius
Rhipitrus calvijer
Rotadiscus grandis
Yunmanozoon lividum

Phylum Uncertain

Amplectobelua symbrachiata
Anomalocaris saron
Cucumericrus decoratus
Parapeytoia yunnanensis

Kingdom Protista (algae)

Fuxianospira gyrata
Megaspirellus hou
Sinocylindra yunnanensis
Yuknessia sp.