

 江苏省金陵科技著作出版基金

远 古 生 命 的 探 索

远古的辉煌

——生物大辐射

主编

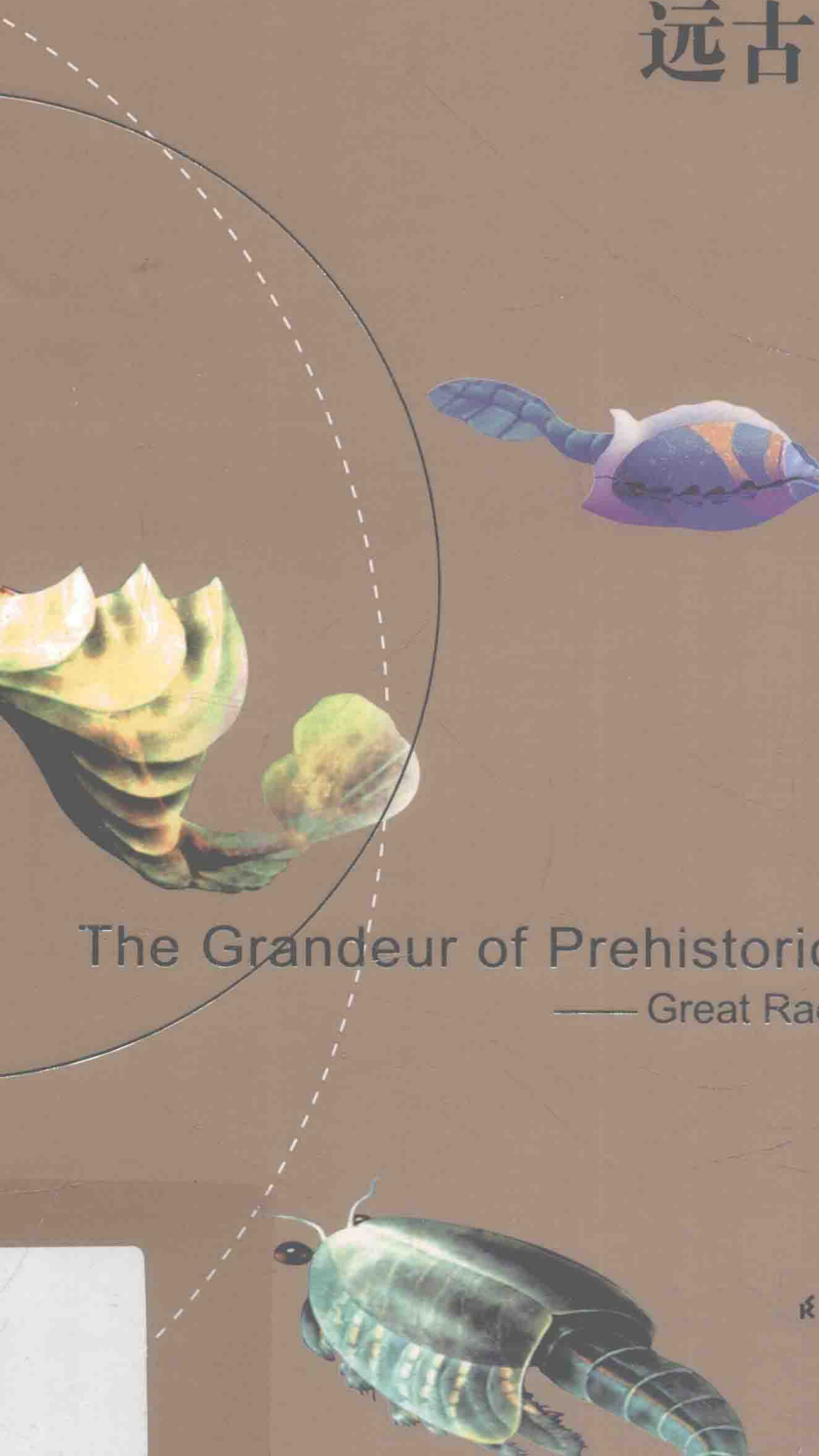
戎嘉余院士

编著

冯伟民

傅 强

许汉奎



The Grandeur of Prehistoric Life
—— Great Radiations

 江苏凤凰科学技术出版社

远古生命的探索

戎嘉余院士 主编

远古的辉煌

—— 生物大辐射

The Grandeur of Prehistoric Life

—— Great Radiations

冯伟民 傅 强 许汉奎 编著



江苏凤凰科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

远古的辉煌:生物大辐射/戎嘉余主编;冯伟民,傅强,许汉奎编著. —南京:江苏凤凰科学技术出版社, 2016.9

(远古生命的探索)

ISBN 978-7-5537-5857-2

I. ①远… II. ①戎… ②冯… ③傅… ④许…
III. ①寒武纪—古生物—普及读物 IV. ①Q91-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第000831号

远古生命的探索

远古的辉煌——生物大辐射

主 编	戎嘉余
编 著	冯伟民 傅强 许汉奎
责任编辑	陈 静
责任校对	郝慧华
责任监制	刘 钧

出版发行	凤凰出版传媒股份有限公司 江苏凤凰科学技术出版社
出版社地址	南京市湖南路1号A楼, 邮编: 210009
出版社网址	http://www.pspress.cn
经 销	凤凰出版传媒股份有限公司
制 版	南京紫藤制版印务中心
印 刷	南京精艺印刷有限公司

开 本	718 mm×1 000 mm 1/16
印 张	8.5
字 数	160 000
版 次	2016年9月第1版
印 次	2016年9月第1次印刷

标准书号	ISBN 978-7-5537-5857-2
定 价	38.00元

图书如有印装质量问题,可随时向我社出版科调换。

目录

第一章 生命诞生，地球不再荒寂	012
一、地球形成	014
1. 原始地球	014
2. 月球——地球生命演化的催化剂	015
3. 岩石圈——生命的根基	016
4. 大气圈——生命的保护层	016
5. 水圈——生命的摇篮	017
二、生命之初	018
1. 生命物质的来源	018
2. 生命起源的原始地球环境	019
3. 生命起源的时间	019
4. 生命形成的过程	019
5. 深海热泉——探究生命起源的“窗口”	020
第二章 缓慢演化，生命迎来曙光	022
一、从原核生命到真核生命	024
1. 原核藻类和最古老的化石	024
2. 条带状铁质沉积	025
3. 最典型的记录——叠层石	026
4. 单细胞真核藻类	027
5. 多细胞真核藻类	029
二、从多细胞藻类到多细胞动物	030
1. 地质事件	030
2. 生物事件	032
3. 重要化石群	036
4. 埃迪卡拉生物的灭绝	043
第三章 门类涌现，生物从此繁盛	044
一、梅树村生物群——原口动物大爆发	046
1. 成磷作用与骨骼化	046
2. 多门类微小骨骼化石	048
3. 多骨片生物体	049
4. 复杂的遗迹化石	050
二、澄江动物群——后口动物大爆发	051
1. 动物造型的多样化	052
2. 生态系统的复杂化	058
3. 生活习性的层次化	060
4. 摄食方式的多元化	065



5. 营养塔的全面搭建	066
6. 器官功能的创新性	066
7. 集约化的迁移行为	069
三、寒武纪生命大爆发的原因	070
1. 环境激发因素	070
2. 生态效应	071
3. 特异埋葬——快速泥流的埋葬效应	072

第四章 喧嚣海洋，登陆开拓新天地 074

一、奥陶纪生物大辐射	076
1. 海洋无脊椎动物大发展	076
2. 奥陶纪生物大辐射的特点	077
3. 奥陶纪海洋生物的生态关系	079
4. 大辐射的起因和控制因素	083
二、志留纪晚期—泥盆纪生物大辐射	086
1. 鱼类时代	086
2. 无颌类	087
3. 有颌类	089
三、走向陆地——生物空间大拓展	092
1. 植物登陆	092
2. 无脊椎动物登陆	095
3. 脊椎动物登陆	097
四、早石炭世早期生物大辐射	101
1. 两栖类大发展	101
2. 蕨类植物大发展	104

第五章 多样演化，爬行、哺乳类各领风骚 108

一、三叠纪中晚期生物大辐射及关岭生物群	110
1. 三叠纪中晚期生物大辐射	111
2. 中晚三叠世大辐射的产物——贵州关岭生物群	114
二、晚侏罗世—早白垩世的生物大辐射及热河生物群	118
1. 晚侏罗世至早白垩世生物大辐射	119
2. 早白垩世生物大辐射的代表——热河生物群	122
三、古近纪中晚期生物大辐射	127
1. 始新世中晚期被子植物大辐射	128
2. 无脊椎动物大辐射	130
3. 陆生哺乳动物大辐射	130
4. 海生哺乳动物的辐射	133

参考文献 135

远古生命的探索

戎嘉余院士 主编

远古的辉煌

—— 生物大辐射

The Grandeur of Prehistoric Life

—— Great Radiations

冯伟民 傅 强 许汉奎 编著



江苏凤凰科学技术出版社



社会主义的根本任务是发展生产力,而社会生产力的发展必须依靠科学技术。当今世界已进入新科技革命的时代,科学技术的进步已成为经济发展、社会进步和国家富强的决定因素,也是实现我国社会主义现代化

的关键。

科技出版工作肩负着促进科技进步、推动科学技术转化为生产力的历史使命。为了更好地贯彻党中央提出的“把经济建设转到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来”的战略决策,进一步落实中共江苏省委、江苏省人民政府做出的“科教兴省”的决定,江苏科学技术出版社于1988年倡议筹建江苏省科技著作出版基金。在江苏省人民政府、江苏省委宣传部、江苏省科学技术厅(原江苏省科学技术委员会)、江苏省新闻出版局负责同志和有关单位的大力支持下,经江苏省人民政府批准,由江苏省科学技术厅、凤凰出版传媒集团(原江苏出版总社)和江苏科学技术出版社共同筹集,于1990年正式建立了“江苏省金陵科技著作出版基金”,用于资助自然科学范围内符合条件的优秀科技著作的出版。

我们希望江苏省金陵科技著作出版基金的持续运作,能为优秀科技著作在江苏省及时出版创造条件,并通过出版工作这一平台,落实“科教兴省”战略,充分发挥科学技术作为第一生产力的作用,为建设更高水平的全面小康社会,为江苏的“两个率先”宏伟目标早日实现,促进科技出版事业的发展,促进经济社会的进步与繁荣做出贡献。建立出版基金是社会主义出版工作在改革发展中新的发展机制和新的模式,期待得到各方面的热情扶持,更希望通过多种途径不断扩大。我们也将

在实践中不断总结经验,使基金工作逐步完善,让更多优秀科技著作的出版能得到基金的支持和帮助。

这批获得江苏省金陵科技著作出版基金资助的科技著作,还得到了参加项目评审工作的专家、学者的大力支持。对他们的辛勤工作,在此一并表示衷心感谢!

江苏省金陵科技著作出版基金管理委员会



致
读
者

给科普工作插上翅膀

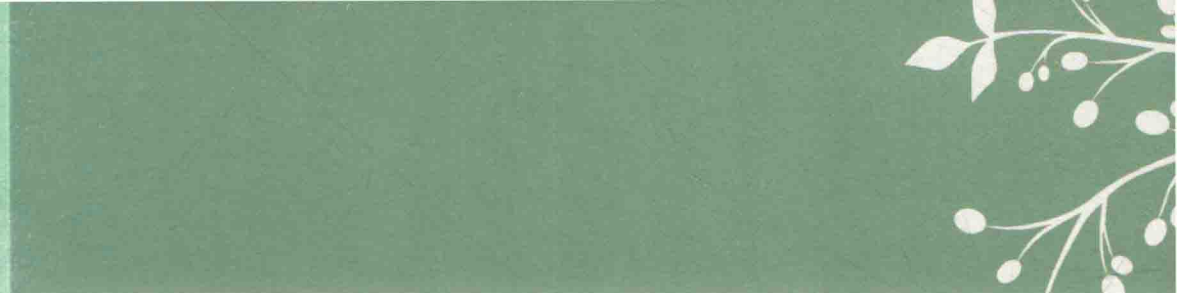
周光召

科学普及工作越来越受到政府和全社会的重视，这一点是不容置疑的。《中华人民共和国科学技术普及法》的颁布和实施，使得科普工作有法可依，《全民科学素质行动计划纲要》的颁布，使得科普工作的目标和实施步骤更加明确。随着时代的不断进步，我国科普工作的内涵得到了进一步拓展，同时对科普工作也有了更高的要求，我国的科普工作已经进入一个新的发展时期。

科普工作很重要的方面是要提高全民的科学素养，这就要求科普工作在向广大群众普及科学和技术知识的同时，大力弘扬科学精神，传播科学思想，倡导科学方法。在科学技术日益发达的今天，公众的科学素养已经是世界上许多国家都非常重视的问题。对个人来说，它关系到每个人在现代社会中的发展和生存质量；对国家而言，提高公民科学素养对于提高国家自主创新能力、建设创新型国家、实现经济社会全面协调可持续发展、构建社会主义和谐社会，都具有十分重要的意义。

科普工作不是某些个人和团体的自发和业余行为，而是国家政府的事业和全社会的工程，需要政府积极引导、社会广泛参与、市场有效推动，同时还需要一支专业化的科学普及队伍。

科学普及和科学研究两者是互补的，缺一不可。科学研究工作是在科学技术的前沿不断探索突破，科学普及是让整个社会尽快地理解和运用科学研究的成果。没有科学研究，将无所普及；没有广泛的普及，科学研究将失去其根本意义，科学研究也将得不到社会的最广泛支持和认同。科学家的主要工作当然是进行科学研究，但是科学家也有义务进行科普工作，促进公众对科学的理解，要充分认识到与公众交流的重要性。科学家应该愿意并且善于和媒体及公众进行沟通和交流，主动积极地把自已的科学见解和科学发明，以及科学上存在的问题告诉广大的群众。同时，公众有权利了解科学的真相，并以各种形式参与到科普行动之中，分享科学研究的成果，掌握科学的方法，理解科学所能给人类带来



的各种影响。

科普工作需要科学界和传媒界之间增强交流合作。大众传媒如广播、电视、新闻报刊、出版、网络媒体等，是今天面向社会公众的主要科普渠道。在以网络为代表的现代传媒飞速发展的今天，传统的科普图书仍然有其无可替代的独特魅力。阅读一本好的科普图书所带来的启迪和乐趣，有时让人终生难忘。同时，科普图书在表达作者观点和思想方面，也有着无法替代的功能。我们要重视科普图书的创作，更要重视科普图书的推广。好的科普作品通常都具备以下几条：首先是实事求是，科学公正地反映科学上的发明发现；然后就是要有很强的思想性，能够大力宣扬实事求是的科学精神，弘扬不畏艰险、勇于创新、积极向上的科学态度；还有就是能够引人入胜，生动有趣。国内外许多大科学家都积极从事科普图书的创作，比如我们大家所熟知的霍金、卡尔·萨根、高士其、华罗庚等。他们的科普工作同样得到社会的广泛承认和尊重。

科普工作是一项创造性劳动，需要坚实的科学功底，更需要一定的写作技巧，还要投入极大的热情和花费很多时间。所以，从事科普工作的人员都要有奉献精神。如果我们的科学家们都能认识到他们肩负着向公众普及科学的重任，在自己力所能及的条件下，努力写出一些优秀生动的科普作品，那么，我国的科普事业必定能更上一层楼。

江苏凤凰科学技术出版社长期以来一直重视科普图书的出版工作，他们一方面从国外引进优秀的科普图书，同时也注重出版原创的科普图书，鼓励国内的科学家积极投身科普创作。这些图书突出了生态意识，关注生命的本质，很有时代特色和现实意义，也很有代表性，都很精彩。希望能够不断出版更多优秀的作品，使这套书更加丰富多彩。

祝愿科普工作能插上翅膀，为全社会多传递一些科普的信息，给读者多输送一些科普的知识。



序

戎嘉余



由中国科学院南京地质古生物研究所冯伟民、傅强和许汉奎3位学者合撰的《远古的辉煌——生物大辐射》一书，集中系统地介绍了地球生命自38亿年前诞生之后所经历的极其漫长的演化历程，重点记述了在这个伟大历程中生命诞生和不同等级、不同规模的生物辐射事件，包括若干次无比恢宏、具有全球意义的大辐射事件。

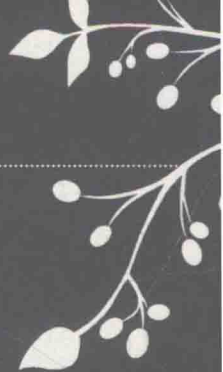
辐射，是生物演化的一种经典形式，专指一种或几种支系相对快速扩散和增加分类多样性、建立新的和有效的摄食方式或占领新的境地的过程。当这样的辐射范围涉及全球多数地理区和多种生物类群时，分类单元和生物形态构造多样性大增，生态域扩张，生物界便发生爆发式规模宏大的辐射现象。

读者可以从本书了解到，从距今5亿多年前到今日的漫长岁月里，我们赖以生活的星球曾发生多次大规模的生物辐射事件，如寒武纪生命大爆发（云南的澄江动物群），奥陶纪生物大分异，古生代中晚期生物持续繁盛，三叠纪生物大辐射，侏罗纪、白垩纪陆地生物大辐射（如辽西的热河生物群）和新生代陆地生物大辐射。令人骄傲的是，所有这些事件都能根据中国丰富多彩的化石群、经过中国学者详细研究分析后提炼出来。

作者用较大的篇幅，详细叙述了发生在5.2亿年前的一次生命历史上最伟大的辐射以及之前的生命演化基础（如蓝田、瓮安、埃迪卡拉等生物群）。正是这次大事件，造就了现代生物界绝大多数门、纲级生物的最早生命形式。从云南东部寒武纪地层中发现的大量澄江动物群化石尤其弥足珍贵，为这次事件提供了最好、最精彩的可靠证据。这些原始生命为什么在寒武纪早期出现？“寒武纪演化动物群”（尤其是节肢动物门的三叶虫）为什么大量繁盛并占优势，而其他类群却直到古生代稍晚时期甚或中生代始得繁衍？读者当可自行思考，也可在本书中找到答案，尽管我们的回答还不能令人满意。

寒武纪之后的奥陶纪发生了海洋生物大分化事件，尤其是“古生代演化动物群”在这次事件结束后取代了“寒武纪演化动物群”。与寒武纪大爆发不同的是，这次事件以目及以下分类阶元的诞生为特征，在门、纲级别中，只有苔藓动物门首现。三叶虫在与腕足动物群相互共处的历程中，继续发展它们的优势、多样性和对环境的多样适应，包括向深水海域作生态尝试并获得成功，随后即开始萧条并把优势传统让位于腕足动物。这次事件持续约2 000万年，直到奥陶纪最晚期。若不是在奥陶纪末期发生全球环境大灾变的话，这次大辐射还将持续下去；如若奥陶纪末的全球环境更加恶化、生态创伤更加剧烈的话，“古生代演化动物群”很可能被重创得更为厉害，其群落面貌将会呈现另一番景象，随后的生命世界会演变得面目全非。

与上述两次海洋生物大辐射不同的是发生在中新生代陆地环境中的生物大辐射事件。例如，辽宁、河北、内蒙古的侏罗纪、白垩



纪湖相生物群富含堪称世界一绝、无比精美的化石材料，它们揭示了那片丰茂土地上曾经滋养过无数陆生脊椎动物、无脊椎动物和植物，孕育着羽毛、飞行和鸟类、被子植物等的起源和早期演化的最重要的史实，相关研究成果在国际上产生很重要的影响。从古新世到始新世早期，有胎盘类哺乳动物（现今日一级的哺乳动物，从蝙蝠到马，从啮齿类到鲸类）的大辐射（反映在温血、牙齿的差异性、它们的聪智或有父辈照顾等）导致更稳定的群落形式的建成。那么，为什么晚白垩世有胎盘类哺乳动物远不如古新世的那样发育？为什么中生代哺乳动物没有像恐龙那样率先辐射？这些也是大家关心、至今仍未形成共识的问题。

辐射的成因也是读者们所关注的。外部环境是外在因素，如全球气候变化，多种因素相比之下，温度可能最为重要。当我们说全球气候变化时，不在于字面上的“变冷”或“变暖”，关键是要深入研究变化后的温度是否适合生物生存，是否超过它们生存所需的温度阈值，当然，实际上是许多因素综合的结果。生物内部因素似乎更为重要，如“变异”“遗传”和“成种”。变异是火种，没有变异，妄想成种；成种是辐射的基础，没有分支成种，辐射无从谈起；变异代代繁衍，靠的是遗传，没有遗传，变异无能为力；遗传还需自然来选择，选择之所以成功也是由许多因素制约的。然而，相对来说，我们对古生物本身（如摄食、生理、免疫、生殖、呼吸等）的研究仍然十分薄弱。

本书的问世，使我联想到前不久出版的、也是由这3位学者编写的《远古的灾难——生物大灭绝》一书。作为本书的姐妹篇，该书告诉我们：大灭绝是全球环境恶化导致生物大规模灭绝的生物和地质事件。一旦环境好转，幸存生物率先复苏，其他支系一一跟随，最后达到新的辐射。综合分析“大辐射”和“大灭绝”，可以知道在地球生命过程中，各种生物，生生灭灭、永不停歇；既有绚丽多彩的“喜剧”，又有失去生机的“悲剧”；成种与衰亡并存，繁华与萧条相伴；没有永远的“辉煌”，也没有永久的“衰落”。经过长期演变，才产生今日地球生物多样性，构成一部波澜壮阔的生命演化史。

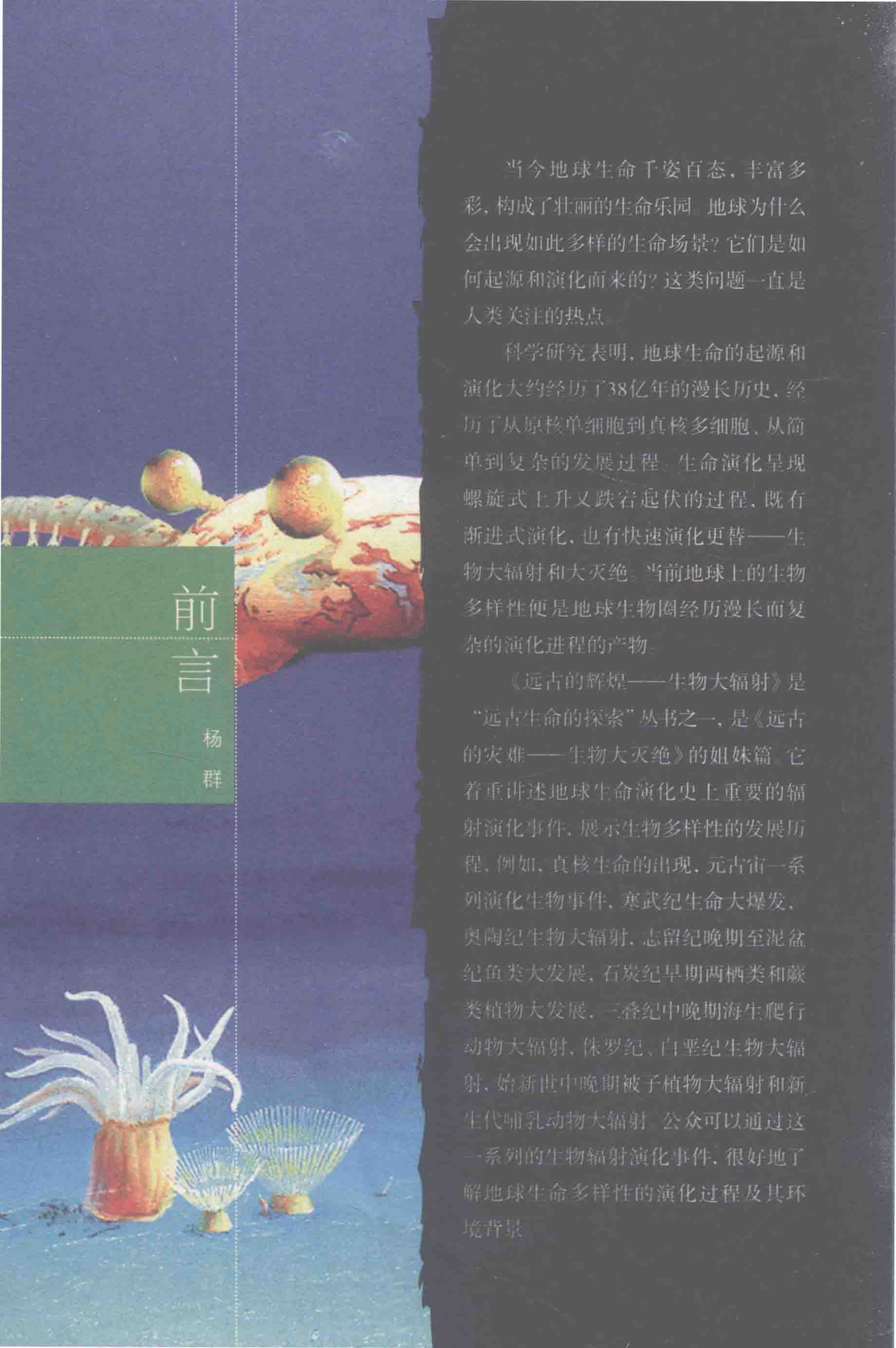
中国科学院南京地质古生物研究所的3位作者尽力编撰的这本书，展现了地球生命演化的漫长历程，既有关键演化阶段的全面系统总结，又有不少翔实的新老资料作为支撑。本书集中于史前生物辐射问题，相关内容以前尚未系统介绍过，可以说这是第一次尝试。尽管专业性较强，本书仍不失为一本喜爱生命演化的读者值得阅读的科普书籍，特此推介。

中国科学院院士

中国科学院南京地质古生物研究所研究员

戎嘉余

2015年12月28日



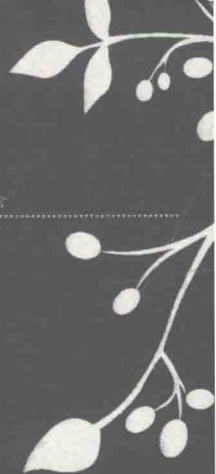
前言

杨群

当今地球生命千姿百态，丰富多彩，构成了壮丽的生命乐园。地球为什么会出现如此多样的生命场景？它们是如何起源和演化而来的？这类问题一直是人类关注的热点。

科学研究表明，地球生命的起源和演化大约经历了38亿年的漫长历史，经历了从原核单细胞到真核多细胞、从简单到复杂的发展过程。生命演化呈现螺旋式上升又跌宕起伏的过程，既有渐进式演化，也有快速演化更替——生物大辐射和大灭绝。当前地球上的生物多样性便是地球生物圈经历漫长而复杂的演化进程的产物。

《远古的辉煌——生物大辐射》是“远古生命的探索”丛书之一，是《远古的灾难——生物大灭绝》的姐妹篇。它着重讲述地球生命演化史上重要的辐射演化事件，展示生物多样性的发展历程，例如，真核生命的出现，元古宙一系列演化生物事件，寒武纪生命大爆发，奥陶纪生物大辐射，志留纪晚期至泥盆纪鱼类大发展，石炭纪早期两栖类和蕨类植物大发展，三叠纪中晚期海生爬行动物大辐射，侏罗纪、白垩纪生物大辐射，始新世中晚期被子植物大辐射和新生代哺乳动物大辐射。公众可以通过这一系列的生物辐射演化事件，很好地了解地球生命多样性的演化过程及其环境背景。



本书阐述了生物辐射演化事件的来龙去脉以及对于生物界发展的深远影响。例如, 20亿年前大气快速氧化事件导致真核生命的起源与演化, 第一次促进了生物多样性快速发展; 寒武纪生命大爆发奠定了显生宙生物演化的基础; 奥陶纪生物大辐射形成了古生代演化生物群; 生物登陆开辟了生命新天地; 羊膜卵的出现使中生代爬行动物迅速成为地球的王者; 哺乳动物以其生理和机能上的优势很好地适应了新生代环境, 并取代爬行动物成为地球新霸主。总之, 生物界靠着创新生命体制, 不断拓展生存空间, 适应不断变化的地球环境, 造就了当今绚丽多彩的生命世界。

本书通过这一系列的生物辐射演化事件, 向读者展示生物界曾经的辉煌, 令人感悟生物与自然环境间精妙的协同关系和当今地球生物多样性的历史渊源。对于人们理解自然, 珍惜自然与环境, 促进人类与自然环境和谐共处, 保护生物多样性, 走可持续发展的道路具有很好的启示。

本书由中国科学院南京地质古生物研究所与江苏凤凰科学技术出版社合作完成。中国科学院院士戎嘉余研究员任主编, 中国科学院南京地质古生物研究所冯伟民研究员、傅强副研究员和许汉奎研究员参与编著。他们为此书的编著出版付出了很多精力和心血, 中国科学院南京地质古生物研究所的有关专家提供了许多帮助和支持。谨向他们致以崇高的敬意。

《远古的辉煌——生物大辐射》是我国科学工作者向社会和公众奉上的一份科学知识大礼。希望广大读者关心科学进步, 重视自然及自然历史; 更加希望广大青少年探索科学知识, 走进科学领域, 成为未来的国家科技力量。

中国古生物学会理事长

中国科学院南京地质古生物研究所所长

杨群

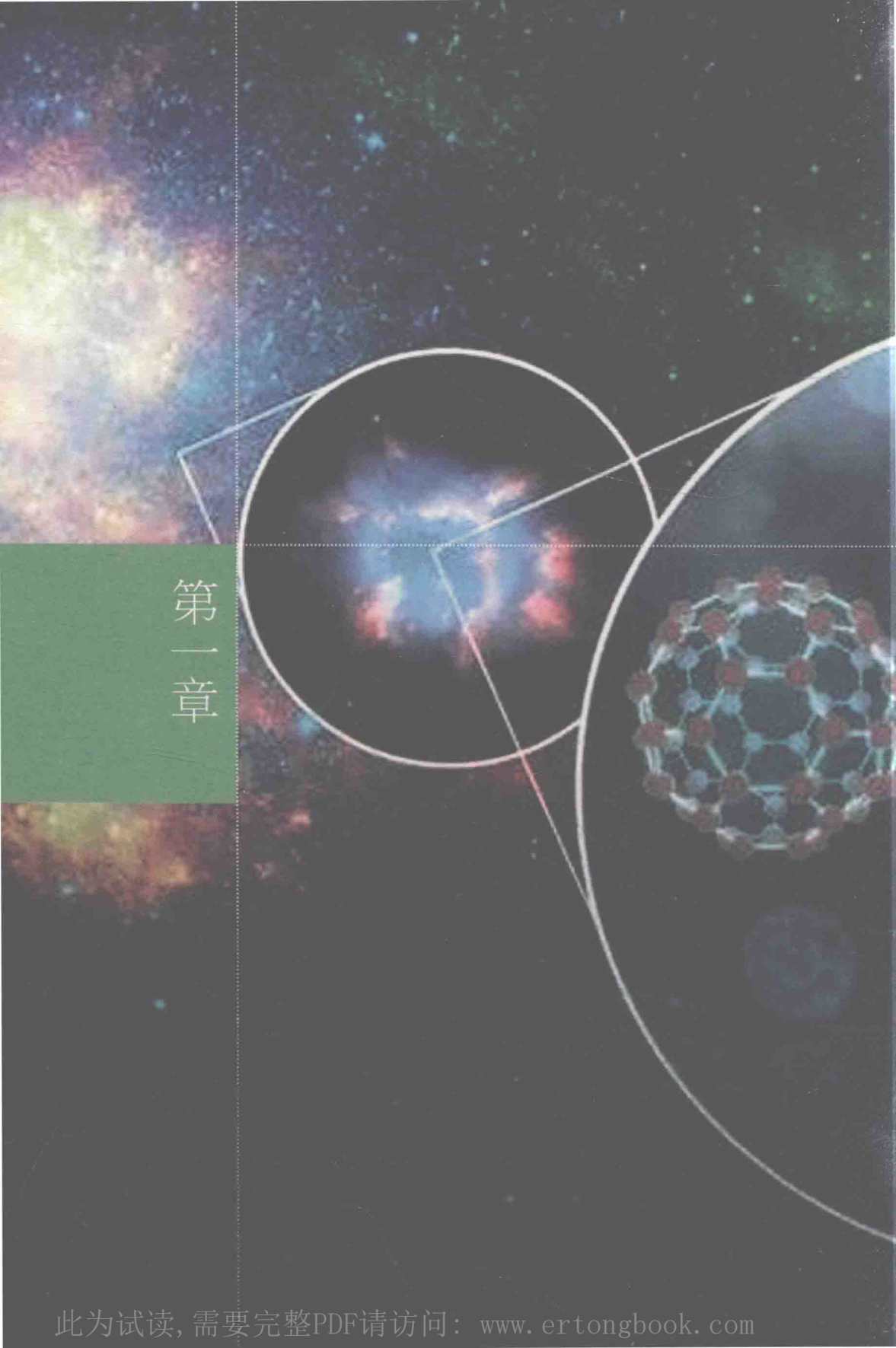
2015年12月

目录

第一章 生命诞生，地球不再荒寂	012
一、地球形成	014
1. 原始地球	014
2. 月球——地球生命演化的催化剂	015
3. 岩石圈——生命的根基	016
4. 大气圈——生命的保护层	016
5. 水圈——生命的摇篮	017
二、生命之初	018
1. 生命物质的来源	018
2. 生命起源的原始地球环境	019
3. 生命起源的时间	019
4. 生命形成的过程	019
5. 深海热泉——探究生命起源的“窗口”	020
第二章 缓慢演化，生命迎来曙光	022
一、从原核生命到真核生命	024
1. 原核藻类和最古老的化石	024
2. 条带状铁质沉积	025
3. 最典型的记录——叠层石	026
4. 单细胞真核藻类	027
5. 多细胞真核藻类	029
二、从多细胞藻类到多细胞动物	030
1. 地质事件	030
2. 生物事件	032
3. 重要化石群	036
4. 埃迪卡拉生物的灭绝	043
第三章 门类涌现，生物从此繁盛	044
一、梅树村生物群——原口动物大爆发	046
1. 成磷作用与骨骼化	046
2. 多门类微小骨骼化石	048
3. 多骨片生物体	049
4. 复杂的遗迹化石	050
二、澄江动物群——后口动物大爆发	051
1. 动物造型的多样化	052
2. 生态系统的复杂化	058
3. 生活习性的层次化	060
4. 摄食方式的多元化	065



5. 营养塔的全面搭建	066
6. 器官功能的创新性	066
7. 集约化的迁移行为	069
三、寒武纪生命大爆发的原因	070
1. 环境激发因素	070
2. 生态效应	071
3. 特异埋葬——快速泥流的埋葬效应	072
第四章 喧嚣海洋，登陆开拓新天地	074
一、奥陶纪生物大辐射	076
1. 海洋无脊椎动物大发展	076
2. 奥陶纪生物大辐射的特点	077
3. 奥陶纪海洋生物的生态关系	079
4. 大辐射的起因和控制因素	083
二、志留纪晚期—泥盆纪生物大辐射	086
1. 鱼类时代	086
2. 无颌类	087
3. 有颌类	089
三、走向陆地——生物空间大拓展	092
1. 植物登陆	092
2. 无脊椎动物登陆	095
3. 脊椎动物登陆	097
四、早石炭世早期生物大辐射	101
1. 两栖类大发展	101
2. 蕨类植物大发展	104
第五章 多样演化，爬行、哺乳类各领风骚	108
一、三叠纪中晚期生物大辐射及关岭生物群	110
1. 三叠纪中晚期生物大辐射	111
2. 中晚三叠世大辐射的产物——贵州关岭生物群	114
二、晚侏罗世—早白垩世的生物大辐射及热河生物群	118
1. 晚侏罗世至早白垩世生物大辐射	119
2. 早白垩世生物大辐射的代表——热河生物群	122
三、古近纪中晚期生物大辐射	127
1. 始新世中晚期被子植物大辐射	128
2. 无脊椎动物大辐射	130
3. 陆生哺乳动物大辐射	130
4. 海生哺乳动物的辐射	133
参考文献	135



第一章