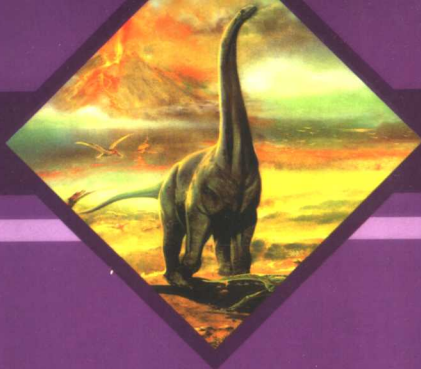




中国地质大学（武汉）研究生系列教材

生物与环境的协同进化

SHENGWU YU HUANJING DE XIETONG JINHUA

徐桂荣 王永标 龚淑云 袁伟 编著

中国地质大学（武汉）研究生教材建设基金资助
中国地质大学（武汉）学术著作出版基金资助
中国地质大学“211工程”基金资助

中国地质大学出版社

生物与环境的协同进化

徐桂荣 王永标 龚淑云 袁伟 编著

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

生物与环境的协同进化/徐桂荣,王永标,龚淑云,袁伟编著.—武汉:中国地质大学出版社,
2005.6

ISBN 7-5625-1991-9

I. 生…

II. ①徐…②王…③龚…④袁…

III. 生物-环境-协同进化

IV. ①Q91,②X17

生物与环境的协同进化

徐桂荣 王永标 龚淑云 袁伟 编著

责任编辑:刘桂涛 赵颖弘

技术编辑:阮一飞

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481837

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://www.cugp.cn

开本:787 mm×1092 mm 1/16

字数:540千字 印张:21.5

版次:2005年6月第1版

印次:2005年6月第1次印刷

印刷:湖北地矿印业有限公司

印数:1-1 000册

ISBN 7-5625-1991-9/Q·9

定价:50.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

“研究生系列教材”总序

在中国地质大学研究生院建院二十周年来临之际,第一批反映我校研究生教学与科学研究成果的“研究生系列教材”出版了,这是我校研究生教育发展过程中的一件大事,可喜可贺!

随着我校研究生招生规模的不断扩大,如何保证研究生的培养质量是我们必须积极思考并努力着手解决的问题。这套研究生系列教材的及时出版,正是一个很有力的举措。研究生教材建设是保证和提高研究生培养质量的重要手段,是反映一个学校教师队伍的学术水平和教学水平的宏观尺度,更是具有战略性意义的基本建设。各门课程必须有高质量的教材,才能使研究生通过学习掌握各门学科的坚实的基础理论和系统的专门知识,为从事科学研究工作打下良好的基础。因此,我校研究生院筹集资金设立了“研究生教材建设基金”,资助出版“研究生系列教材”以满足本校各学科研究生教学的需要,促进我校研究生教材建设工作,提高研究生培养质量。

由于研究生具有人才的高层次性、培养的超前性和学习的研究性等特点,这就要求研究生教材并不是本科生教材的简单深化和延续,而应该结合学校的学科专业结构和特色来编写系统性、新颖性、适用性融为一体的研究生教材。这套“研究生系列教材”以具有我校特色的研究生课程教材为主,既有基础理论教材,又有研究生专业课教材,准备在今后数年内分批次出版。“研究生系列教材”总的特色是从我校研究生的教学实际需要出发,根据各门课程在各专业研究生培养中的地位 and 作用,在内容上求新、求深、求精。专业课程教材还要力求高起点,反映科学规律,追踪该学科专业的发展前沿,反映国内外的最新研究成果。

虽然我们的主观愿望是尽可能组织编写出一套特色鲜明、适用性强的高质量“研究生系列教材”,但由于我校研究生教材建设工作起步不久,经验不足,已出版的教材质量尚待在使用中检验,敬请校内外专家学者及读者不吝指教,我们将非常感谢。

姚书振

中国地质大学(武汉)研究生院 院长

2005年5月20日

前 言

近年来国内外科学家们在古生物学和生物学包括分子生物学研究中有许多重要发现,很大程度上影响了生物进化的理论。对达尔文学说的讨论众说纷纭,加上环境保护受到各国科学家和政治家的日益重视,一系列新理论、新观点浮出水面。本书试图归纳近年来在生物学范围内的新发现,介绍和讨论了一些新观点。

在自然界每时每刻都有创新事件出现,新事物层出不穷,所以创新发展是自然界的一条规律,同理,创新进化是生物发展的一条规律。另一方面,任何一个创新事件,都是由多种条件决定的,是多种因素协同作用的结果。所以协同发展是自然界的又一条规律,同理,协同进化也是生物发展的又一条规律。

自然界包括生物界的发展是复杂的,人们无法穷尽其发展规律。达尔文的适应进化和自然选择理论开辟了科学地研究生物学之路,但没有终结生物进化规律的探索。基因学的发展为生物进化理论戴上了辉煌耀眼的光环,把科学家的探索带入了一个新天地。所以,科学研究本身是一个不断创新的过程,前面有一个个高峰等待有志者去攀登,但没有止境。

我们对生物和环境的协同进化和创新进化的认识是肤浅的,况且生物界还有许多规律性的问题本书没有涉及。譬如说,有的学者建议,用生物“演化”一词比用生物“进化”全面,因为生物发展中有进化、有退化、有消亡,生物进化不能概括生物绝灭事件,不能概括有些生物的大倒退。我们同意这个建议。但因为本书主题是协同发展尤其侧重协同创新,用生物进化一词比较能突出主题。除这个原因外,大绝灭和生物倒退事件等问题,可能还有特殊的规律,我们并没有认识到,所以在书中只是擦边而过,不能冒然深入讨论。

在生物学中,长期形成一个观点,生物的进化是从单枝到多枝的发展,即是说生物进化必然有一个起源中心,有一个起源的原型。本书主张多空间起源和多地方起源,“单中心”起源论作为一种猜想,至今没有可靠的证据,“多中心”论的证据也显得单薄,要等待别的行星上找到生物才算有过硬的证据。

其他,如文化与基因的协同,生态与基因的协同,协同辐射等问题是标准生物学中很少涉及的,我们认为这些问题在生物进化理论中是十分重要的问题,所以本书进行了初步的探讨,但有待进一步深入研究。

本书的完成虽然经历了数年的磨励,但还是觉得论述粗糙,只能作为抛砖引玉的材料。目的是希望引起关注,希望得到有兴趣的学者或读者的批评指正。

简介

本书讨论了生物与环境的“协同进化”，论述了一系列新观点。生物在进化中既有相互竞争和制约，又有互利和相互维系的协同关系。而且协同进化是生物界发展的“主导”，协同进化是普遍性的原理，优胜劣汰是局部性原理。

协同进化包含“协同创新进化”和“协同适应进化”两个方面，而“协同创新进化”是生物进化的主轴。这里所说的“创新”是大自然发展中的产物。生物进化中的创新是在自然物质刺激下和在自然规律的诱导下实现的，可以称为“刺激和诱导”法则。书中肯定了达尔文的进化论，也指出了其中的缺陷。“自然选择”是通过环境变化起作用的，“自然选择”不一定要伴随“优胜劣汰”。每个物种在“协同进化”中都有它自己的地位。

生命是物质运动形式，这是一元论，同时生物是“多空间起源”，地球上生命是“多地方起源”，其中人类的“多地区起源”是一个重要理论。“多地方起源”说与演化谱系是两个不同的概念，它们互相区别但又不矛盾。

生物协同创新进化的首要条件是物质基础，同时受自然规律的控制。书中讨论了基因是遗传信息的载体还是“程序设计者”的问题。生命现象与热力学有十分密切的联系，生物的抗熵增机制，是生物的协同创新进化中常常遵循的原则。

摄取食物是动物生存首要本能。许多生物的创新进化与取食的要求有关。食物网在地质历史上是不断演变的，生物协同关系在很大程度上表现在食物网的关系中，食物网的动态平衡、食物网中的节约原则和食物网的脆弱性都体现了生物协同关系。生物的生存需要能量，植物通过光合作用把光能转变为可贮存的化学能；生产者需要消费者的帮助，消费者对生产者有许多贡献。

生物界的一个重要创新能力是对自然环境的改造和维持，生物对大气的改造包括累积自由氧和减少二氧化碳。生物影响着气候和物质循环。

生命起源和生物进化中有一系列协同创新事件。生命形成本身是宇宙中最重要的协同创新事件。细胞的形成、叶绿素分子、眼睛的形成、从单细胞进化到“后生生物”、骨骼机制的形成和有性生殖等都是协同创新进化。有性进化中有多次协同创新进化。基因交流可分为5个发展阶段：自由交流不稳定阶段、保守阶段、稳定发展阶段、同型框组合阶段和被改造阶段。

物体在水中运动最适合高速的体形是两侧对称的流线形。寒武纪初期生物辐射大爆发有不同的解释，本书认为基因交流从“保守期”进入“稳定发展期”为生物发展开辟了广阔的道路，是大爆发的基本原因。脊椎骨出现、生物登陆、植物维管束的出现、动物四肢、肺的起源和鸟羽毛的起源等都是创新事件。劳动创造了人类本身，也创造了人脑。在人脑进化中手的解放、制造工具、熟食和用火等是重要的因素。文化与基因的“协同进化”是人类进化的一个特殊特征。

协同适应辐射的主要因素是生物在结构上创新突破。一个类别的迅速适应辐射必然牵扯其他生物，引起一些类别的迅速演化，称为协同辐射。维管束的创新突破引起一系列陆生维管束植物的辐射。最早的被子植物出现引起许多其他生物的迅速辐射。因为恒温 and 胎生等方面的创新突破才有哺乳动物的辐射进化。

人类化石记录清楚证明了人类从古猿进化来的历史。人类从制造工具、使用工具和从事劳动生产,火的使用、熟食、社会活动、语言和文字的产生推动了人类社会的发展。人类有思维自觉能动性的劳动和文化,不断推动科学的发展。人类起源于动物界,又超出了动物界。人脑的发达、智能的提高不只是因为脑量和脑细胞数增加,更重要的是脑细胞功能的完善。人类在基因为基础的生物进化之外,进入了人类社会文化的进化。人类进化中制造工具的劳动是创新,是既不能用“自然选择”也不能用“基因突变”可以解释的。制造工具的劳动的诱因是获取食物,自然规律逐渐诱导人类从打击到研磨制造石具。用工具进行狩猎,采撷果实,用工具剥去兽皮和切割分配等劳动也是在自然规律的诱导下实施的。人脑的进化是典型的创新进化过程。人类在文化素质上的创新,已完全脱离了生物的范畴。

生态是生物与环境的交互关系,是一种协同关系。古生物学的物种是形态种,在一定程度上与交配群的概念是一致的。物种又是生态单位。隔离成种的理论与多地区成种并不矛盾。生态系与基因的协同作用表现在多方面,生态系的变动会影响基因,生物的相互作用也影响基因。地球表层是由多个圈层组成,生物圈与其他各圈层有密切关系。“第二生物圈”试验的失败说明,到目前为止人为的“生物圈”不可能完全替代地球生物圈的作用。

达尔文关于物种形成的理论被称为渐变论。间断平衡论提出新种形成可分为旧种的稳定和成种事件的快速突发两阶段。网式成种过程与多地方起源的理论有某些一致性。关于自然选择的单位,本书主张群体和物种,甚至属等类别都可能是选择的单位,在不同的条件下自然选择进行不同的选择。“自私基因”的理论是没有根据的。协同进化论认为新种形成是在协同适应和协同创新过程中形成的。在新种形成中有生物特性或器官等方面的创新,创新的突破引起新类型或新种的突然出现。

大绝灭只是生物进化漫长历程中的数次插曲,它不改变进化的事实,有时可能延缓了进化,但大都加速了生物的进化。生物主要的创新进化不发生在灾变中,但一般认为,大绝灭为创新进化开辟了空间。绝灭后复苏之前有一段等待时期,绝灭后一般不立即复苏因为创新需要时间。

整个生物的进化史是协同进化的历史,但是人类作为整体,还没有完全自觉到协同发展的必要性。事实上人类对自然和生物资源的掠夺已远远超出了地球可以承受的能力,人类对环境的破坏已经危害到人类自身的生存。人类要想长期生存必须树立“可持续发展观”,人类要保证千秋万代的子孙生存和发展,有能利用的充足自然资源,就必须保护自然资源及其再生产的能力。经济和生态协同发展是为人民谋福利的根本。

在临近 20 世纪末时,曾流传“世界末日”的谎言。人类可能遭遇的“大灾难”,来自 4 个方面,也就是常说的地外的、地内的、生物的和人间自身因素。但“天灾”不可怕,“人祸”最危险。

人类的文化史发展中有 3 种文化:①人性文化,②中庸文化,③非人性文化。人类应该与生物圈同寿,但人类生存期的长短完全取决于人类自身,可以预见人类未来的 3 种前途:①人类间协力同赴、联袂共渡,共同走向繁荣。人类的生存期将与生物圈同寿。②像现今世界,人类间矛盾不断,但限于小打小闹,各国各“家”为利益不断摩擦。③部分人私欲极度膨胀,在美丽词藻掩盖下扇动敌对情绪,使非人性文化和非人道的征服欲占上风,最后挑起核战争。“核冬天”中没有人能幸免,人类将在短期内毁灭。

人类期望光明的未来,人类必须防止第三种前途,要力争第一种前途。人类为了生存,为了子孙万代的平安有必要研究本书讨论的这些问题。尤其青少年,更需要研究这些问题,人类

幸福的未来掌握在他们手中。

本书旨在使人们认识协同进化的重要性,唤起人们对环境的保护,爱护地球爱护生物圈。本书综合了近 20 年来科学中的新成就,讨论了一系列重要问题,可作为有关生物和环境教学的参考书,也会吸引许多关心生物和环境进化问题的读者广泛阅读。

目 录

第一章 什么是协同进化	(1)
一、我们主张的协同进化	(1)
1. 几种类似的观点	(1)
2. 什么是协同进化?	(1)
二、什么是“进化”? 什么是“协同”?	(2)
1. 对进化的理解	(2)
2. 生物进化是多过程的发展	(2)
3. “协同”的含义	(2)
三、什么是“协同适应进化”?	(3)
四、什么是“协同创新进化”?	(3)
1. 生物进化中的创新	(3)
2. 生物结构上的创新	(3)
3. 生物与地球环境的协同创新	(3)
4. 生物界是一个整体	(4)
五、创新进化是自然规律	(4)
1. 关于“创新”一词的含义	(4)
2. 生物创新进化的规律	(4)
六、生物进化的几种模式	(5)
1. 性状变异和适者生存的自然选择	(5)
2. 基因突变	(5)
3. 协同创新事件	(5)
七、小结	(6)
第二章 达尔文理论三七开	(7)
一、进化论在抗争中产生	(7)
二、达尔文进化论的事实根据	(7)
三、对达尔文学说的一些批评	(8)
四、“生存斗争”是次要的	(8)
五、“自然选择”的中心问题是环境变化	(9)
六、每个物种在“协同进化”中都有自身的地位	(10)
七、进化服从自然法则	(11)
八、防止社会达尔文主义的错误思想	(11)
九、小结	(11)
第三章 协同适应进化	(13)
一、达尔文的有关论述	(13)

二、协同适应进化的实例	(13)
1. 马的协同适应进化	(13)
(1) 马进化的化石证据	(13)
(2) 现代驯马和野马	(14)
(3) 环境变化促使马进化	(15)
2. 适应快速奔跑的动物的四肢	(15)
3. 骆驼的进化	(15)
4. 象的进化	(16)
三、适应进化中的协同	(17)
四、进攻的“策略”	(19)
1. 灵活矫健和坚齿(或喙)利爪	(19)
2. 组织围捕	(20)
3. 爬行动物中隐蔽出击和威吓毒杀	(20)
4. 水中霸王	(20)
5. 触手、吸盘或刺丝	(20)
6. 蜘蛛织网捕食或偷食	(21)
7. 昆虫中快速追捕或迷彩隐蔽等待	(21)
8. 蜜腺诱惑	(22)
9. 舌头作为武器	(22)
10. 电击、射水和毒液	(22)
五、防御的手段	(23)
1. 群集和奔跑	(23)
2. 躲藏或穴居	(23)
3. 体大皮厚	(24)
4. 披甲覆壳长针刺	(24)
5. 集体攻防	(24)
6. 集体中警戒和示警	(25)
7. 利他行为的讨论	(25)
8. 巧妙的保护色	(26)
9. 快速繁殖和保护幼体	(27)
六、小结	(27)
第四章 生命的多空间起源	(28)
一、生命是物质运动形式	(28)
二、生命形成的条件	(28)
1. 液态水	(28)
2. 适当的温度	(28)
3. 一定的压力范围	(29)
4. 基本的无机和有机物质	(29)
三、生命地球起源说	(29)

1. 地球起源的各种假说	(29)
(1)“原汤”说	(29)
(2)最早诞生的自我复制分子	(30)
(3)淡水起源说	(30)
(4)地球初期热液的重要作用	(30)
(5)生命形成的“推理”	(30)
2. 为什么地球上可以存在如此丰富多彩的生物?	(31)
(1)优益的位置	(31)
(2)恰当的质量	(31)
(3)迅速的自转	(31)
(4)小的公转偏心率	(31)
(5)有较大的固体卫星	(31)
(6)宝贵的液态水	(31)
(7)神奇的大气圈	(32)
(8)比较其他类地和类木行星	(32)
四、生命地外起源说	(32)
1. 宇宙年龄	(32)
2. 地球年龄	(33)
3. 太空中与生命有关的物质	(33)
(1)太空中的有机物	(33)
(2)太空中的微生物	(34)
(3)太空中的水	(35)
五、生命多空间起源	(36)
1. 生命空间起源的若干假设	(36)
2. “多空间起源”的可能性	(36)
六、关于“生命多空间起源”的反对意见	(36)
七、小结	(37)
第五章 地球上生命和生物大类的多地方起源	(38)
一、地球上生命的产生	(38)
二、生命的多地方起源	(38)
1. 多空间起源的推理	(39)
2. 化石记录的启示	(39)
(1)细胞前的生命痕迹	(39)
(2)太古宙地层中的石油残余	(39)
(3)有形态的细胞化石	(40)
3. 极端困难环境中不同类型的生物	(41)
(1)“食氢”的细菌	(41)
(2)地壳深处和盐结晶中的细菌	(42)
(3)冰层深处的细菌和低温下的蠕虫	(42)

(4)陆壳和海洋深部高温高压环境下的生物	(42)
三、生物大爆发与多地方起源	(43)
1. 埃迪卡拉动物群	(43)
(1)动物群特征	(43)
(2)动物群的分布	(44)
2. 小壳动物群	(44)
3. 年代测定	(45)
4. 澄江动物群	(47)
5. 起源问题	(48)
(1)祖先在哪里?	(48)
(2)最早的痕迹化石	(48)
(3)几种推测	(49)
(4)三叶虫的祖先来自何方	(49)
四、关于多地方起源的讨论	(50)
五、关于人类的多地区起源	(51)
1. 人类起源的各种争论	(51)
(1)人科和人属的起源	(52)
(2)智人起源	(53)
2. 人类多地区起源的学说	(55)
(1)关于智人起源的“夏娃假说”	(55)
(2)中国的古人类学证据支持多地区进化说	(56)
(3)“夏娃假说”与石器记录相矛盾	(56)
(4)古生物学的证据不支持“夏娃假说”	(57)
(5)分子遗传学的证据有待证实	(57)
六、各地方人类的进化水平基本一致	(58)
1. 所谓“莫维士线”	(58)
2. 百色盆地的旧石器推翻了“莫维士线”	(58)
七、“夏娃假设”很时髦,多地区起源被冷落	(58)
八、基因的多地方起源	(59)
1. 转基因技术	(59)
2. 克隆技术	(59)
3. 多地方起源说的一个重要根据	(60)
九、多地方起源说与演化系谱不矛盾	(61)
十、小结	(61)
第六章 生物创新进化的基础	(63)
一、灵活的碳元素	(63)
1. 构成许多有机分子的主要骨架	(63)
2. 碳元素极为丰富	(63)
二、多姿多态的蛋白质	(64)

三、有极大变化空间的核苷酸·····	(64)
四、基因·····	(65)
1. RNA 和 DNA ·····	(65)
2. 三种基因类型 ·····	(66)
3. 突变 ·····	(66)
4. 基因库和基因交流 ·····	(66)
5. 同源框基因 ·····	(67)
6. 基因型和表现型 ·····	(67)
7. 等位基因和性状的显性和隐性 ·····	(67)
8. 基因是“程序设计者”吗? ·····	(67)
五、生物体制的“模式统一”和生物多样性·····	(68)
1. 达尔文关于“模式统一”的论述 ·····	(68)
2. 后生生物的统一模式 ·····	(68)
3. “模式统一”的基础·····	(69)
4. 生物的多样性 ·····	(70)
(1)什么是生物多样性 ·····	(70)
(2)为什么要研究生物多样性 ·····	(70)
(3)全球物种数量的估算方法 ·····	(70)
(4)现代全球物种数 ·····	(71)
(5)地球上曾经生活过多少物种? ·····	(71)
(6)各种环境中生物多样性 ·····	(72)
5. 模式统一与多样性的和谐 ·····	(73)
六、基因间的协同·····	(73)
七、非适应进化·····	(73)
1. 基因漂移说 ·····	(74)
2. 中性基因说 ·····	(74)
3. 分子的创新进化 ·····	(74)
八、小结·····	(74)
第七章 生物的抗熵机制 ·····	(76)
一、生命与熵·····	(76)
1. 热力学第二定律 ·····	(76)
2. 熵增加原理 ·····	(76)
3. 三种不同状态下的热力学 ·····	(77)
4. 耗散结构 ·····	(77)
二、抗熵增机制·····	(78)
1. 什么是抗熵增机制? ·····	(78)
2. 抗熵增机制的成因 ·····	(78)
3. 地质作用中的各种抗熵增机制 ·····	(78)
4. 生物的抗熵增机制 ·····	(79)

(1)生物分子水平的抗熵增机制	(79)
(2)食物网的抗熵增机制	(79)
(3)生物节制进食和运动中的抗熵增机制	(79)
(4)动物睡眠和冬眠及植物落叶以节省能量	(80)
5. 抗熵增机制的控制条件和在生物创新进化等方面的意义	(81)
三、小结	(82)
第八章 协作取得食物——动物的食性和食物网	(83)
一、复杂的食性	(83)
1. 肉食者	(83)
(1)捕食大型动物的肉食者	(83)
(2)捕食小型动物的肉食者	(83)
(3)食腐肉的肉食者	(83)
(4)食残渣的肉食者	(84)
(5)食昆虫的肉食者	(84)
(6)食鱼虾的肉食者	(84)
(7)食螺、蚌等介壳生物的肉食者	(84)
(8)食蚯蚓等蠕虫的肉食者	(85)
(9)食浮游生物的肉食者	(85)
(10)食寄生虫的肉食者	(85)
(11)吸血的肉食者	(85)
(12)食细菌者	(85)
(13)寄生摄食者	(85)
(14)共生者和共栖者	(85)
2. 杂食者	(85)
(1)肉食为主的杂食者	(86)
(2)素食为主的杂食者	(86)
(3)食粪者	(86)
3. 素食者	(86)
(1)食树者	(86)
(2)食草者	(86)
(3)食藻者	(86)
(4)食腐殖质的素食者	(86)
(5)寄生植物(或称附生植物)	(86)
4. 分解者	(87)
二、精巧交织的食物网	(87)
1. 食物网的复杂性	(87)
2. 一些特殊的食物网	(87)
三、食物网的进化历程	(88)
1. 地质历史早期的生物食性	(88)

2. 两侧对称的捕食者与被捕食者出现	(88)
3. 脊椎动物出现后的食物网	(89)
四、食物网揭示的生物协同关系	(90)
1. 食物网的动态平衡	(90)
2. 食物网中的节约原则	(91)
3. 群落食物网的脆弱性	(91)
五、小结	(92)
第九章 有机能量转移	(93)
一、光合作用	(93)
1. 光水解作用	(93)
2. 高能电子转移中生产生物能	(93)
(1) 非环行的电子转移	(94)
(2) 环行的电子转移	(94)
3. 固定 CO_2 的循环	(95)
4. 光合作用的最后产物	(95)
二、代谢作用	(97)
1. 生物体内的氧化-还原反应	(97)
2. “燃料”的分解	(97)
3. 能量转移到 ATP	(98)
4. 生物活力的启动和发挥	(99)
三、消费者的贡献	(100)
1. 生产者需要帮助	(100)
2. 消费者帮助完成物质循环	(100)
四、生物进化中能量消耗不断增加	(101)
五、小结	(101)
第十章 协作创造生存条件——生物与大气圈的形成和发展	(102)
一、地质时期的大气和氧的循环	(102)
1. 地球初期的大气	(102)
(1) 次生的初期大气组成	(102)
(2) 初期大气缺氧的假设	(102)
(3) 自由氧不断产生	(103)
2. 自由氧累积的原因	(103)
(1) “光致离解”的作用	(103)
(2) 生物的贡献	(103)
3. 现代大气的组成	(104)
4. 氧的循环	(104)
5. 地质时期大气中的二氧化碳	(105)
(1) 地质初期的二氧化碳	(105)
(2) 生物的作用使大气二氧化碳减少	(105)

二、重要元素循环中生物的主导作用	(106)
1. 碳循环	(106)
(1)碳的大循环——风化-沉积循环	(106)
(2)碳的中循环——生产-腐烂循环	(106)
(3)碳的小循环——呼吸循环	(107)
(4)温室气体	(107)
2. 氮循环	(107)
(1)地球初期大气中的氮气	(107)
(2)植物利用氮的循环	(107)
(3)去硝化作用	(108)
三、生物风化作用	(108)
四、生物对气候的影响	(108)
1. 生物与水循环	(109)
2. 生物与水土保持	(109)
3. 生物对气候的调节	(109)
4. 生物对气候的灵敏反应	(110)
五、地质历史上的古温度	(110)
1. 有关地表温度的基本事实	(110)
2. 各时代古温度资料	(110)
(1)新生代	(110)
(2)中生代	(111)
(3)古生代	(112)
(4)前寒武纪	(112)
六、地质历史上太阳辐射的变化	(112)
七、生物圈对自然环境的调节作用	(113)
1. 什么是生物圈?	(113)
2. 生物圈的强大调节作用	(113)
3. 人类社会必须与生物圈协调发展	(113)
八、小结	(114)
第十一章 生物进化中的协同创新事件(一)	(116)
一、地球早期生命形成	(116)
1. 早期复杂有机物	(116)
2. 有机分子进化的几种理论	(116)
3. 有机分子的创新进化	(116)
二、复杂有机物到细胞形成	(117)
1. 先原核细胞	(117)
2. 原核细胞	(118)
3. 真核细胞	(119)
(1)最早的真核细胞	(119)

(2)真核和细胞膜	(119)
(3)真核细胞的细胞器	(120)
4. 细胞形成问题的讨论	(120)
(1)细胞膜形成的途径	(120)
(2)细胞膜的形成是创新过程	(121)
(3)为什么形成细胞核?	(121)
(4)生命在地球上出现是偶然的和突然的吗?	(121)
5. 原核细胞到真核细胞的化石证据	(122)
(1)太古宙的原核化石	(122)
(2)元古宙微化石及真核生物	(122)
三、叶绿素的形成	(122)
四、眼睛的协同创新进化	(124)
1. 从眼点到感光细胞	(124)
2. 无脊椎动物的眼睛	(124)
3. 各种各类眼睛的协同创新	(125)
4. 人眼结构	(126)
5. 所谓“愚蠢”的“设计”和章鱼为什么没有眼睑	(127)
五、“后生生物”的出现	(128)
1. 从细胞集合体到细胞分工	(128)
2. 细胞的协同创新和后生生物的多源说	(129)
3. 后生植物的起源	(129)
4. 后生动物的起源	(129)
(1)元古宙晚期的痕迹化石	(129)
(2)埃迪卡拉动物群	(130)
(3)为什么早期动物的体形大都是平面辐射对称结构?	(130)
(4)有了细胞间的协同作用才有后生动物起源	(130)
六、形成介壳和骨骼	(131)
1. 元古宙晚期小壳动物群和早期具壳生物	(131)
2. 骨骼的协同创新进化	(132)
(1)硬体出现的原因	(132)
(2)克服重力是根本原因	(132)
七、节肢动物附肢的协同进化	(132)
1. 附肢的创新进化和基因控制	(132)
2. 节肢动物翅膀的起源	(133)
八、有性生殖	(133)
1. 性别的出现和发展	(133)
2. 有性生殖的优越性	(134)
(1)有关的假设	(134)
(2)基因交流提高种群稳定性	(135)