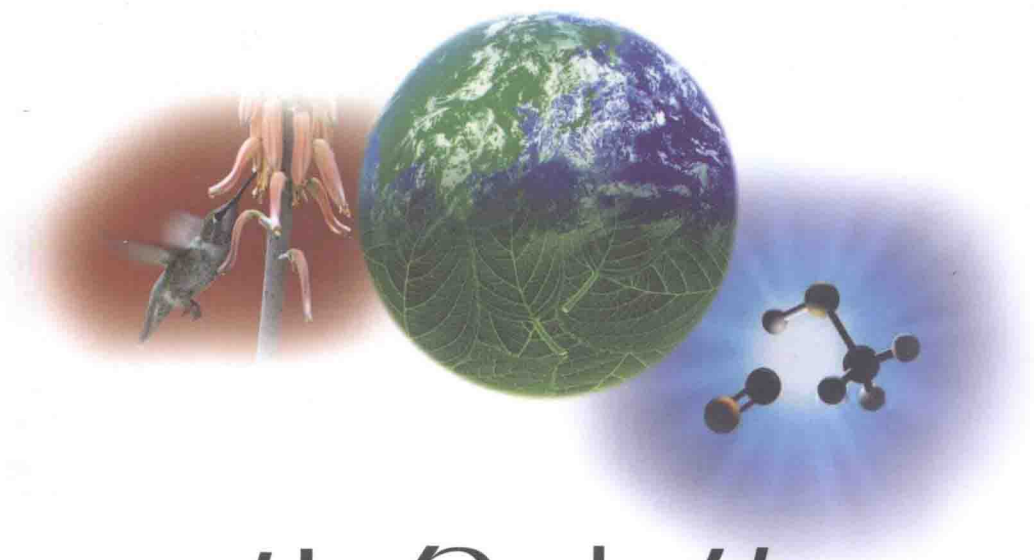
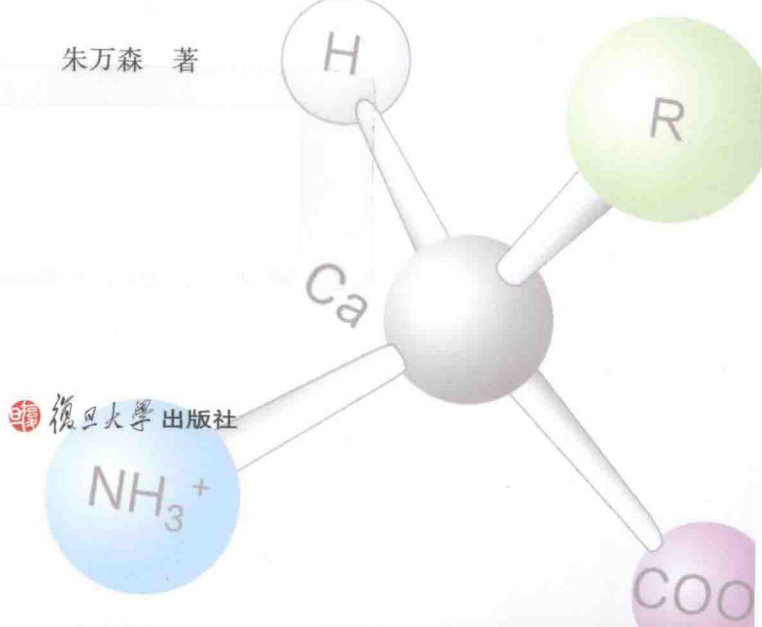




生命中的 化学元素

朱万森 著

复旦大学出版社



生命中的化学元素

朱万森 著

復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

生命中的化学元素/朱万森著. —上海:复旦大学出版社, 2014. 4
ISBN 978-7-309-10238-3

I. 生… II. 朱… III. 化学元素-高等学校-教材 IV. 0611

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 301085 号

生命中的化学元素

朱万森 著
责任编辑/范仁梅

复旦大学出版社有限公司出版发行
上海市国权路 579 号 邮编:200433
网址:fupnet@fudanpress.com http://www.fudanpress.com
门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853
外埠邮购:86-21-65109143
江苏省句容市排印厂

开本 787×960 1/16 印张 24.25 字数 376 千
2014 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-10238-3/O · 527
定价: 48.00 元



如有印装质量问题, 请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。
版权所有 侵权必究

前言

21 世纪初,复旦大学对课程结构进行了全面调整,并形成了以综合教育和文理基础教育为主要特色的通识教育课程体系。

“生命中的化学元素”这门课程被列入了复旦学院通识教育的核心课程(第四板块:科技进步与科学精神),旨在帮助学生从科学史的角度加深对科学思想和科学精神的理解,鼓励人文与社会科学专业的学生涉猎理科知识和拓宽科学的视野。

现在完成并出版的这本教材是著者这十幾年来的努力和教学实践的结晶,它秉承了复旦大学通识教育的理念,宗旨就是为化学系以外的各文理科学学生广角度地介绍化学各学科与当今科学研究的前沿——生命科学之间的紧密关系,使学生加深对化学科学的了解,同时也加深学生对现代科学思想和科学精神的理解。

本书重点引导学生将目光投向当今科学研究的几个前沿问题,它包括宇宙和生命的起源、化学元素的诞生和其在生命体中的进化、生命元素在生命体中的作用、地球上和生命体中生命元素的循环和平衡、地球的生物化学循环和人类对地球的环境保护。所涉及的知识有天体化学、生物化学、分析化学、生物无机化学、环境化学等学科知识;所讲述的内容主要围绕当代的生命科学的研究,并较多涉及到人体营养学、微量元素和人体健康、生活中的环境污染和环境保护等诸多热点问题。希望学生通过学习和阅读能了解和掌握化学及生命科学的相关科学知识,建立起正确的科学理念。

法国后印象派画家高更(Paul Gauguin 1848—1903)曾用一幅著名的画提出了这世界上所有人的不解的疑问——“我们从哪里来?我们是谁?我们往哪里去?”本书的另一目的也就是试图运用我们已知的科学知识去做出努力,来对此疑问做出一些初步的回答,哪怕是牙牙学语式的回答,这也是科学精神的体现。

本书作为复旦大学通识教育的教材,既用来与国内其他院校的通识教育教材进行交流,也可提供为其他院校用作教材和教学参考书。不仅如此,本书还由于选材广泛、资料丰富,又紧扣社会上有关营养、医疗保健诸方面的热点问题,亦可作为一本介绍生活科学知识方面的科普读物,供社会各界同仁参考和阅读。

本书在编写过程中,得到了复旦学院孙燕华博士的全力支持,化学系领导特别是化学系主管教学的副系主任吴性良教授和高翔教授先后给本书以有力的推荐和指导,在此特向他们表示谢意。本书的顺利出版也应感谢参与本课程教学的另外两位老师熊焕明教授和高明霞副教授,他们参照了本书的初稿,进行了有创造性的教学实践。更应感谢的是复旦大学出版社的范仁梅编审,由于她的努力和辛勤工作,本书才得以顺利出版。

作为一本通识教育的教材,本书内容的选择涉及面广,参考的书籍和文献众多,限于篇幅,不可能一一罗列注明,只是选择了一部分主要的参考书目列在书后,难免有失全面和遗漏。至于本书的内容那就更难免有疏漏甚至谬误之处,欢迎各位读者能给予批评指正。

作为高校教育改革而推出的这本通识教育的教材,其内容的全新体系显然是一个尝试,也期望着读者能给予鼓励和支持,我和我的同事们将会更加努力。

朱万森

2013.12.8

第一章	导论:化学与生命	001
1-1	引言 /	001
1-2	化学与生命 /	002
第二章	宇宙和化学元素的起源	006
2-1	宇宙如何创生——传说和思考 /	006
2-2	宇宙是在膨胀中 /	007
2-2-1	问题之一:夜里的天空为什么是黑的? /	007
2-2-2	问题之二:天体的光谱为什么会有红移? /	008
2-3	宇宙大爆炸理论 /	011
2-3-1	宇宙大爆炸理论的提出 /	011
2-3-2	宇宙大爆炸的八个阶段 /	012
2-3-3	宇宙从何而来? /	014
2-3-4	宇宙又往何处去? /	015
2-4	化学元素诞生的理论 /	016
2-4-1	化学元素的最初核合成——大爆炸中的核合成 /	017
2-4-2	化学元素的恒星核合成 /	019
2-4-3	化学元素的超新星核合成 /	022
2-4-4	地球的形成 /	023
2-5	“化学元素王国”的边界 /	024

第三章	生命和生命元素的演变	025
3-1	生命起源的研究 / 025	
3-1-1	生命是谁创造的? / 025	
3-1-2	生命起源的学说之一(化学进化说) / 026	
3-1-3	生命起源的学说之二(早期宇宙胚种说) / 030	
3-1-4	生命起源的学说之三(新宇宙胚种说) / 031	
3-1-5	生命起源的学说之四(新地球生成论) / 034	
3-1-6	生命进化的历程 / 037	
3-2	生命元素的形成 / 040	
3-2-1	生命起源时对化学元素最初的自然选择 / 040	
3-2-2	生命体演化过程中有选择地吸收化学元素的规律 / 041	
3-2-3	生命元素的组成 / 042	
3-3	生命体中化学元素的来源 / 046	
3-3-1	地球是生命体元素的源泉 / 046	
3-3-2	生命体中元素的主要来源之一:天然淡水 / 048	
3-3-3	生命体中元素的主要来源之二:海洋 / 049	
3-3-4	生命体中元素的主要来源之三:土壤岩石 / 050	
3-3-5	生命体中元素的主要来源之四:大气 / 052	
3-4	生命元素的主要形态和主要特性 / 053	
3-4-1	生命体中的主要生命物质 / 053	
3-4-2	生命元素的主要存在形态 / 054	
3-4-3	生命元素的主要特征 / 055	
3-4-4	生命元素与地球生物化学循环密切相关 / 058	
3-5	影响生命元素演变的环境因素 / 059	
3-5-1	生命外部环境的差异和变化所造成的影响 / 059	
3-5-2	地球环境被破坏对人类带来的影响 / 062	
第四章	生命中的主量元素(一)	064
4-1	碳是生命的物质基础 / 064	
4-1-1	生命为什么选择碳? / 065	

4-1-2	生命中的碳元素主要起什么作用 / 066
4-2	糖类化合物 / 066
4-2-1	光合作用 / 067
4-2-2	单糖 / 069
4-2-3	二糖 / 071
4-2-4	多糖 / 073
4-2-5	黏多糖 / 078
4-2-6	复合多糖 / 080
4-2-7	红血球的糖蛋白与血型 / 081
4-2-8	维生素 C / 083
4-3	糖类化合物的重要生理功能 / 086
4-3-1	糖类化合物的主要生理功能 / 086
4-3-2	糖类化合物的生物信息识别功能 / 088
4-4	脂类化合物 / 089
4-4-1	中性脂肪、脂肪酸及蜡 / 090
4-4-2	磷脂和糖脂 / 098
4-4-3	甾类化合物 / 101
4-4-4	脂溶性维生素 / 106
4-4-5	植物甾醇的研究 / 121
4-4-6	脂类化合物的主要生理功能 / 122
4-5	碳在生命体中的代谢和平衡 / 122
4-5-1	碳营养源 / 122
4-5-2	碳在生物体内的循环 / 123
4-5-3	糖类代谢的疾病——糖尿病 / 125
4-5-4	脂类代谢的疾病——心血管疾病 / 128
4-5-5	用“碳”来毁灭生命? / 132

第五章	生命中的主量元素(二)	134
5-1	生命与氮 / 134	
5-2	氨基酸 / 136	

- 5-2-1 蛋白质氨基酸的结构和分类 / 137
- 5-2-2 非蛋白质氨基酸 / 144
- 5-3 肽 / 145
 - 5-3-1 多肽 / 145
 - 5-3-2 一些具有重要功能的多肽 / 147
- 5-4 蛋白质 / 153
 - 5-4-1 蛋白质的结构 / 153
 - 5-4-2 蛋白质的生理功能 / 157
- 5-5 酶、维生素、激素 / 159
 - 5-5-1 酶 / 159
 - 5-5-2 维生素(B族) / 167
 - 5-5-3 激素 / 179
- 5-6 核酸和基因 / 187
 - 5-6-1 核酸 / 187
 - 5-6-2 基因的研究 / 193
 - 5-6-3 生命的遗传 / 195
- 5-7 生命体中其他重要的含氮小分子化合物 / 200
 - 5-7-1 神经递质 / 200
 - 5-7-2 生物碱 / 206
 - 5-7-3 植物中的硝酸盐氮 / 210
 - 5-7-4 人体内的一氧化氮 / 212
- 5-8 氮元素在人体中的代谢与平衡 / 215

第六章 生命中的主量元素(三) 224

- 6-1 氧和生命 / 224
 - 6-1-1 氧生于水——光合作用 / 224
 - 6-1-2 氧与呼吸 / 225
 - 6-1-3 生命体中氧的吸入和运输 / 227
- 6-2 氧的“功”与“过” / 229
 - 6-2-1 氧的“功绩” / 229

- 6-2-2 氧又是一种潜在的“毒物” / 231
- 6-2-3 生命中的过量氧是有害的 / 232
- 6-2-4 氧自由基真是衰老的罪魁祸首吗? / 234
- 6-2-5 生命体中的抗氧化合物 / 235
- 6-2-6 重要的是缺氧同样有害 / 239
- 6-3 生命中的氢元素 / 242
 - 6-3-1 氢离子和酸碱平衡 / 242
 - 6-3-2 氢离子和体液 / 243
 - 6-3-3 人体对氢离子的调节 / 245
 - 6-3-4 氢离子和人的味觉 / 250
 - 6-3-5 人体里的氢与医疗诊断 / 251
 - 6-3-6 氢的氧化是生物氧化过程的本质 / 252
- 6-4 水和生命 / 252
 - 6-4-1 水的化学特性 / 253
 - 6-4-2 人体中的水 / 254
 - 6-4-3 水的生理功能 / 257
- 6-5 钙和磷 / 259
 - 6-5-1 骨骼、牙齿及血浆 / 259
 - 6-5-2 钙离子的主要生理作用 / 260
 - 6-5-3 成骨与破骨 / 263
 - 6-5-4 钙的营养吸收 / 264
 - 6-5-5 磷化物——人体能量的仓库 / 269
 - 6-5-6 磷的生理作用和营养吸收 / 273
- 6-6 钠和钾 / 275
 - 6-6-1 人体中的钠和钾 / 275
 - 6-6-2 钠和钾的生理作用 / 276
 - 6-6-3 离子通道和 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 泵 / 279
 - 6-6-4 人体对钠和钾的吸收 / 281
 - 6-6-5 钠和钾对植物生长的作用 / 281
- 6-7 氯和硫 / 282

	6-7-1 氯 / 282	
	6-7-2 硫 / 283	
	6-8 镁 / 286	
	6-8-1 镁与叶绿素 / 286	
	6-8-2 镁和人体 / 288	
第七章	微量元素和人体健康	292
	7-1 人体中必需(及可能必需)的微量元素 / 292	
	7-1-1 碘 / 293	
	7-1-2 锌 / 298	
	7-1-3 硒 / 302	
	7-1-4 铁 / 305	
	7-1-5 铜、钼、钴、铬 / 311	
	7-1-6 锰、硅、镍、硼、钒 / 320	
	7-2 低剂量可能具有人体所必需功能但具有潜在毒性的微量元素 / 326	
	7-2-1 氟 / 326	
	7-2-2 锡、锂、铝 / 329	
	7-3 可能具有人体所必需的功能但具有较大毒性的元素 / 332	
	7-3-1 铅 / 332	
	7-3-2 汞 / 336	
	7-3-3 镉 / 338	
	7-3-4 砷 / 340	
	7-4 对微量元素的研究 / 344	
	7-4-1 微量元素缺乏与过量时对生命的影响 / 344	
	7-4-2 微量元素之间的相互作用 / 348	
	7-4-3 人体中微量元素分布、代谢及平衡的研究 / 350	
	7-4-4 人体内微量元素存在现状的忧虑 / 356	
第八章	人类与地球共命运	359
	8-1 人类与环境 / 359	

8-2 人类对生命元素循环的严重破坏造成了地球环境的严重
污染 / 361

8-2-1 生物地球化学循环 / 361

8-2-2 地球上的碳循环和人类对其的严重干扰 / 363

8-2-3 污染气体氮氧化物、二氧化硫的释放引起了全球性的严重
大气污染 / 366

8-2-4 含磷、氮的废水造成了地表水的富营养化,工业污染使水循
环遭受破坏 / 368

8-3 世界范围内的环境污染严重威胁着人类的生存 / 370

8-4 我们应与地球共命运——建立绿色的家园 / 373

主要参考书目 / 375

第一章

导论:化学与生命

1-1 引言

17 世纪,法国著名科学家、哲学家帕斯卡尔(Blaise Pascal)曾说过这样一段话:“我不知道是谁把我安置到世上来的,也不知道世界是什么,我自己又是什么?……我不知道我的身体是什么,我的感官是什么,我的灵魂是什么?……正像我不知道从何而来,我同样也不知道我往何处去,我仅仅知道在离开这个世界时,我就要永远地或则是归于乌有,或则是落到一位愤怒的上帝的手里。”

人生只有一次,匆匆来到这世上,仅是百亿多年间的一瞬,却不知世界为何物,生命是什么,“我”又从何而来?这确是人生莫大的憾事。

研究自然科学和哲学的,可以纵论万物运动之因果,但了解生命运动之本质自然应是其最主要的研究;研究历史的,可以畅谈历史之脉络,而对人类及生命最初起源的探讨也正应是其研究的起点;研究文学的,可以写尽人间之沧桑,可这多姿多彩的生命究竟是由什么来主宰岂不更值得描绘?

《生命中的化学元素》当然不是企图想讲清“生命是什么?”这一人类认识史上最基本、最核心的问题,但是我们可以从化学的角度来讲述生命科学研究中的部分重要发现及其研究成果,可以讲述组成生命的化学元素的一些重要作用及其运动规律。对于这些知识的了解,将会多多少少地影响每个人的学习和思维,乃至理性和做人的态度。

应该承认,生命本身是一种极为复杂的发展过程的产物,有着纵横交错变化着的偶然性和必然性。“世界是什么?我往何处去?”宇宙中并没有有关生命之谜的现成答案,这些问题得由人类自己来回答,而且还必须在人类有限的生存期间,

找到人类存在的真正意义。因此,不妨借用林肯(Abraham Lincoln)说过的一句话:“既然身而为人,就有义务了解何谓生命的意义。”

1-2 化学与生命

生命与化学之间究竟有什么关系?美国医学家、诺贝尔奖获得者科恩伯格(A. Kornberg)就提出了“把生命理解为化学”这一著名论点。对此,我们不妨从以下这三方面来理解。

1. 生命是化学演变的产物

所谓演变,就是一系列的变化,其中最重要的就是化学变化,因为唯有化学变化才会产生新的物质。生命实际上就是化学反应的产物,就是由非生命的物质经过长期的化学进化演变而来的。有些生物学家把生命看成是一系列的过程,从化学的角度来看,生命过程就可以看成是一系列的不以生物体意志为转移的化学反应的过程和传递化学信息的过程,这也正是化学进化的过程。所以要真正地了解生命,就必须首先从了解生命中的化学元素及其变化开始。

曾有人说过:“用物理作用可以解释化学现象;用化学作用可以解释生命现象;用生命作用可以解释心理现象;用心理作用可以解释社会现象。”对生命的化学进化而言,化学作用的因素远比物理的乃至其他的因素要来得重要。生命科学家已认识到:生命现象只能在分子的层次上用化学作用来加以阐明。但问题是,化学如今是否已能完全地解释生命?至今,这仍然是一个任重道远的问题。

2. 在化学的催化下,生命还在变化中

有人问道:“人类起源于猿人,那么什么样的人类将起源于我们?”这确是一个值得研究的课题。在地球的演变史上,生命的进化是从来没有停止过的,何况当今的人类还在不断地创造出数不胜数的新的化学物质来影响着生命的进化甚至也可能正在导致生命的退化,尤其是人类又在克隆、基因改造和遗传工程上取得了巨大的成功。转基因食品如今已大量现身于市场,人造细菌、人造动植物的研究方兴未艾。我们没有理由不关注化学在其中的巨大影响。

生命当然还会继续进化下去,而这一进化过程肯定将会比以往任何时候更强烈地受着化学运动的制约和主导。50多年前,科学家首次在试管里成功合成了DNA(脱氧核糖核酸),如今,美国研究人员又在努力跨越生命研究中的巨大鸿沟,

试图完全用人造 DNA 去创造生物。2008 年 1 月,美国《科学》杂志报道,美国马里兰州克雷格·文特尔研究所(J. Craig Venter Institute)的科学家们在实验室里用化学方法,合成了世界上第一个也是最庞大的人造细菌基因组。他们复制目前已知最小的细菌之一——生殖支原体的 DNA,将基因片段人为地重新组合,共组合了 582 970 对碱基,成功地制造出最大的人造细菌基因组,为创造首个完全人造生命迈出了极其重要的一步。2010 年,该研究所的项目负责人美国生物学家克雷格·文特尔(J. Craig Venter)、汉密尔顿·史密斯(Hamilton Smith)及其同事在 5 月 20 日出版的《科学》杂志上又进一步宣布,他们创造了一个人造生命。他们首先选取一种名为丝状支原体的细菌,对其基因组进行解码并复制,制造出了载有约 1 000 个基因的 DNA 片断。然后研究人员又将“山羊支原体”细菌的内部挖空,再向其中注入了他们新设计的 DNA,不久后,植入的新的基因组取得了这个单细胞生物的控制权。最后,新的支原体终于开始自我繁殖,成为世界上首个“人造生命”。这是自有生命起源以来的第一个没有父母的生命,实验中,文特尔将“人造生命”起名为“辛西娅”(Synthia,意为“人造儿”)。他表示:“‘辛西娅’其实是一个人工合成的基因组,是第一个人工合成的细胞,也是第一种以计算机为父母的可以自我复制的生物。”“辛西娅”的诞生,意味着人造生命的时代已经来临。

依赖于化学,人类已对天地万物施加了前所未有的调控,尤其是如今,人类已似乎即将拥有制造人造细菌的能力,可是科学家也告诫我们:细菌与病毒是不同的,细菌可以在生命体之外的环境中生存和繁殖,这当然会引起人们对人造细菌各种可能的潜在危害的莫大忧虑。我们还得承认,尽管科学家在化学与生命上进行了很多研究,取得了巨大的成功,可是至今我们仍然还不能说人类已完全了解了生命,我们并不了解这些研究中可能隐藏着的风险。

另一方面,到 20 世纪末(1999 年底),根据美国《化学文摘》的收录,化学家合成的化学物质的数目已达 2 230 万种,但其中仅 6 万~7 万种为人类所使用,只有约 7 000 种为工业大量生产,可是环境中据说已发现有近 10 万种不同种类化合物,它们与生命的关系将又如何?有无影响到生命的未来?举个例子来说,大规模地使用化肥和农药、杀虫剂已经是保持现代农业产量的重要手段,但美国国家海洋与大气管理局动物学家的最新研究却表明,农业化学药品会影响大马哈鱼的大脑,同时损害它们的捕食能力,据称,生活在美国西北太平洋沿岸和其他地方的大马哈鱼已面临着巨大的致命性威胁。请注意,这个例子仅是当今我们这个星球

上所发生的千万个事例中的一个,但它却使我们沉重地感觉到:我们千万不能忽视化学和化学品对于生命的巨大影响和作用。

3. 化学的影响还将决定地球上生命的最终命运

一切事物都存在着死亡的过程,太阳如此,地球也如此,大诗人李白早就吟诵过:“日月终销毁,天地同枯槁”,当那一天真的到来时,地球上的生命将会如何?茫茫宇宙中,何处去延续或是孕育新的生命?这是科学界所高度关切的课题。

化学的研究能否为未来的生命寻找最终的出路?20世纪末,美国科学家进行了一次工程浩大、耗资达2亿美元的“生物圈二号”实验。1991年,该项目在亚利桑纳州建造成了一个超过三个足球场大、近8层楼高的实验基地,占地1.3万平方米。在这个基地里全面地模拟了地球上的自然生态体系,有空气、水、土壤、模拟的阳光,还有各种动植物以及森林、草地、河流、湖泊和微型海洋(深达8米,还有珊瑚礁),引入的动植物数量达4000多种。1991年9月26日,来自美、英、德和比利时的八名男女科学家志愿进入到“生物圈二号”工作和生活,呼吸绿色植物释放的氧气,饮用生态系统生成的水,吃自己种出的粮食。原本预期那里可以永久居住人类,至少志愿者在那里与世隔绝两年不会出现什么问题。然而令人无论如何也没想到的是,仅仅4个月后,那里的氧气浓度已不足以维持志愿者的生命,从21%直线下降至14%,虽经输氧补救,但仍有19种小动物灭绝,所有的传粉昆虫都死亡,依靠花粉传播而繁殖的植物也无一幸存。二氧化氮(NO_2)和二氧化碳(CO_2)的含量直线上升,脊椎动物陆续死去,而用来吸收二氧化碳的牵牛花却恣意疯长。后来虽经各种努力,最终这一实验还是彻底失败了。

多少年来,人类孜孜不倦、梦寐以求地盼望着能冲出地球,向宇宙深处进军。而随着地球环境的日益恶化,科学家们只能殚精竭虑地加速寻找“挪亚方舟”的进程。“生物圈二号”的失败所反映出来的信息却向人们冷酷地证明了:地球环境是在经历了数十亿年的漫长风雨后才形成的,对于这种超常稳固的生态系统,人类渴求着窥其奥秘,憧憬着能营造起脱离地球的伊甸园,但这岂是那简单的仿造所能完成?

如今,在新世纪的开端,人类又突然发现生命从来没有像今天这样受到人类意志的控制和改造,我们的化学家也因此而自豪:因为生物学家只是致力于如何阐明生命的过程,而化学家则致力于如何调控生命的过程。但是,以克隆为基础的无性繁殖作为核心,这一控制和改造究竟会走到哪一步?这肯定是我们这些世

纪初的人所无法想象的,而其先兆和曙光如今已出现在地平线上。

要在未来真正掌握住地球上生命的最终命运,化学家自然还需要和其他学科的科学家一起更加倍地努力,同时我们还必须得牢记:地球不是如生物圈二号那样的实验室,在生命的问题上,我们失败不起,尊重自然、善待和保护地球才是我们地球上生命的当前最重要的任务。