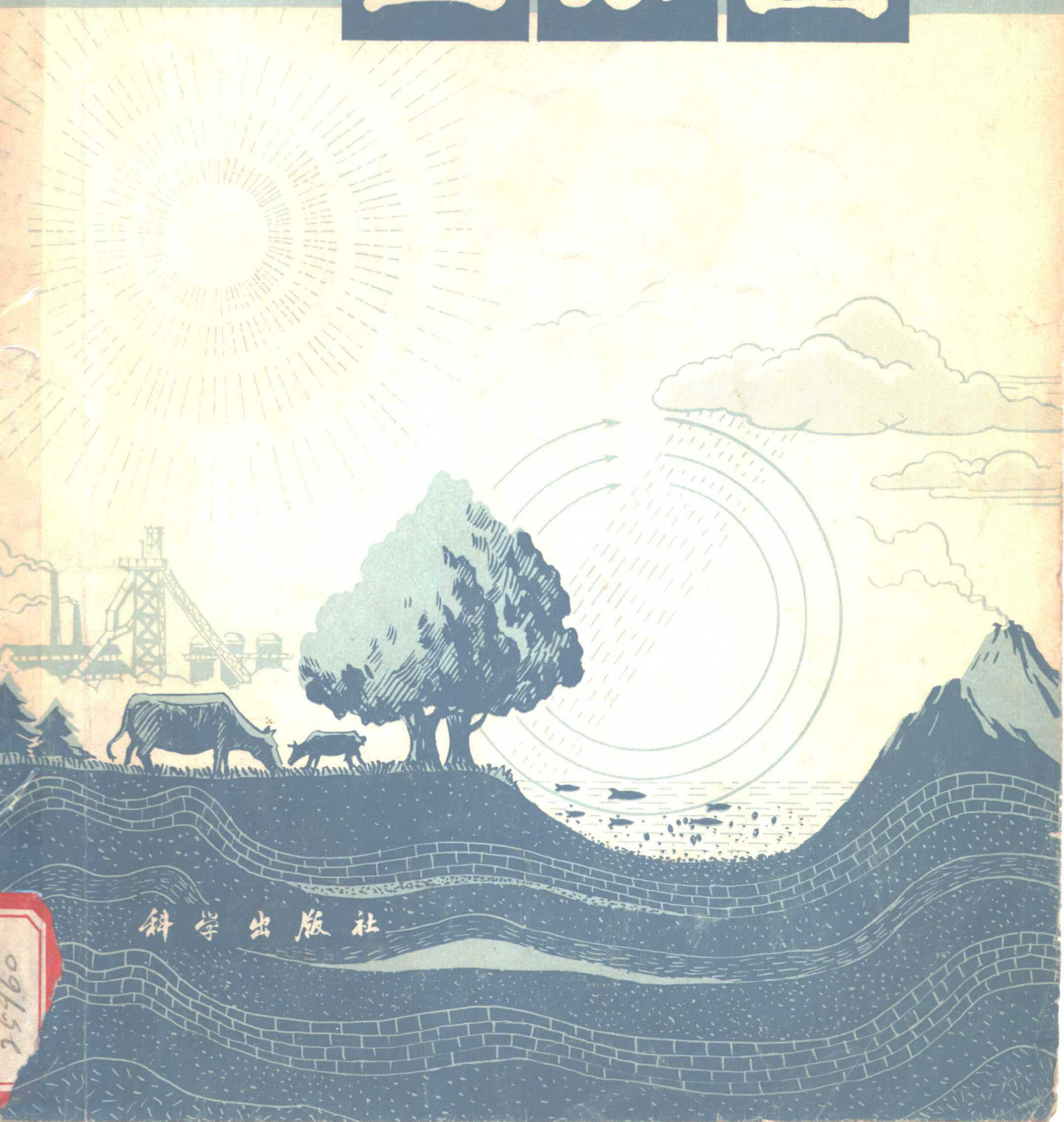


生物圈



科学出版社

09460

生 物 圈

[美] G.E. 赫欽遜等著
华北农业大学植物生理教研組譯

科 学 出 版 社

1 9 7 4

内 容 简 介

此书译自美国出版的《科学美国人》(Scientific American)月刊1970年9月号。书中共有11篇有关生物圈的文章,其内容包括生物圈的机构、地球上的能量循环、水循环、碳循环、氧循环、氮循环、矿质循环以及能量循环、食物生产、物质生产的生物圈过程。在这本书里,介绍了各种环境条件对人类与各种生物发展的影响。本书的内容除了以生态学为其主要内容以外,也涉及地质学、气象学、地理学、海洋学、湖沼学、生物化学、生物物理、植物生理、土壤学、农学等领域,还讨论到生命起源、环境污染、工业布局等问题。

此书可作为科学技术干部、大专院校师生的参考读物。

生 物 圈

〔美〕G. E. 赫钦逊等著
华北农业大学植物生理教研组译

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

北京新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1974年9月第一版 开本: 787×1092 1/16

1974年9月第一次印刷 印张: 8 1/4

印数: 0001—38,950 字数: 188,000

统一书号: 13031·166

本社书号: 292·13—6

定 价: 0.68 元

目 录

第一章	生物圈——地球上生命的大规模循环式机构·····	(1)
第二章	地球上的能量循环——来自太阳的能量由大气与海洋广泛分布·····	(14)
第三章	生物圈的能量循环——绿色植物固定太阳能由生物群落分享·····	(25)
第四章	水循环——水既是生命过程的介质，也是它们的氢的来源·····	(38)
第五章	碳循环——碳在地球上较稀少，它的途径错综交织·····	(48)
第六章	氧循环——大气里一直没有氧气，直到有了绿色植物才把它放到那里·····	(58)
第七章	氮循环——氮必须被一定类型的生物所固定，它才能被其他生物所利用·····	(72)
第八章	矿质循环——生活物质主要是氢、氧、碳和氮，但是其他元素在其中起了关键作用·····	(84)
第九章	人类的食物生产是生物圈里的一个过程——农业的发展为人类生产了较多的粮食·····	(97)
第十章	人类的能量生产是生物圈里的一个过程——已贮藏的能量的释放推动了自然界的循环·····	(107)
第十一章	人类的物质生产是生物圈里的一个过程——闭合无机物质的循环有困难·····	(117)
译后记	·····	(126)

第一章 生 物 圈

G. Evelyn Hutchinson

“地球上的一薄层生活物质是由大规模的能量与化学元素循环来维持的。所有这些循环必然受人类活动的影响。”

生物圈的概念是澳大利亚地质学家 Eduard Suess 大约在一世纪前有点偶然地引入自然科学的，他在1875年出版了关于阿尔卑斯山的起源一本小册子，在最后也是最概括的一章中当讨论到地球的各种领域时，第一次应用了生物圈这个名词。然而，这个概念当时在科学思潮中起的作用并不大，直到1926年首先在苏联，其后于1929年在法国发表了苏联矿物学家 В.И.Вернадский (Vladimir Ivanovitch Vernadsky) 所做的题为《生物圈》的两篇讲演之后，才引起人们的注意。我们今天所接受的生物圈的概念，本质上是Вернадский的概念，是在Suess提出之后约五十年发展起来的。Вернадский认为这个概念最初是来自法国博物学家拉马克 (Jean Baptiste Lamarck)，他的地球化学，虽然是用古文写的，但是常常表达得十分透彻。

生物圈是指地球上生命的那部分，但是这个定义立刻会引起一些问题而需要加以说明。在地表以上相当高的地方有细菌和真菌的孢子。然而，一般说来，这样的“空中浮游生物”并不进行活跃的代谢作用。甚至在地球表面也有太旱、太冷或太热的地区，难以维持进行代谢的生物（有技术装备的人类探险家除外），但是在这样的地方通常也会找到孢子。因此作为地球一个外套的生物圈显然多少有些不规则的形状，因为它被一个界限不明确的“副生物圈的” (parabiospheric) 区域围绕着，这里有一些休眠形式的生命存在。当然，生命今天能生存在远离自然生物圈的宇宙舱或宇宙服里。这种人为的环境最好看作是脱离地球而暂时射入太空中的小体积生物圈。

作为地球一个外套的生物圈，有什么特殊的地方？答案似有三部分。第一，它是有大量液态水的区域。第二，它从一个外界来源，最终是来自太阳，得到充足的能量。第三，它里面有介于物质的液态、固态和气态之间的界面。生物圈存在所需的所有这三种明显的条件，都需要详细地加以研究和讨论。

所有活跃地进行代谢的生物大都是由分散在水介质中的有机高分子的精巧系统所组成。生物的适应能力很强，甚至在沙漠中或在南极广大冰面的边缘部分都可能存在，它们的体内含有邻近环境中仅有的液态水。虽然这样的旱生生物可能在长时间内保持内部的水分供应，然而，它们仍需要偶而的露水或雨水。最热的沙漠在形式上象是处于生物圈之外，虽然，按前面已解释的那种含义，它们可能是“副生物圈的”。不久以前，这种情况曾引起一定的兴趣，因为有一个时期传说火星上可能有生物，它们靠保留在其组织中的水分生活在一个几乎无水的环境中。然而，最近的研究看来说明，火星上未必有

任何种类的生物圈。

地球上的全部生命所依赖的能源是太阳。现在太阳辐射的能量只是靠具有叶绿素的生物进行光合作用产生有机物而进入生物循环，这些生物是绿色和紫色细菌、蓝绿藻（图1.1）、浮游植物以及高等植物的巨大群体。这样的生物当然就局限在白天接受阳光辐射的那部分生物圈里。这部分生物圈包括大气、地表、土壤的几毫米表层以及海洋、湖泊和河流的表层水。在一个非常混浊的河流中营养带或照光带可能只有几厘米厚，而在海洋的最清澈部分，则超过 100 米深。凡有阳光照射的地方，生物圈就不会完结；由于排泄的废物、蜕下的皮以及活的和死的生物总是从照光的区域沉到深处，所以地心引力就把能流（energy flow）向下延伸。



图 1.1 生物圈中的革命由图中的蓝绿藻化石显微照象代表。照片中的细胞，是多种类似化石的一种，由哈佛大学的 Stanley A. Tyler 和 Elso S. Barghoorn 在安大略南部燧石藻（Gunflint）地质建造中找到，估计是在约二十亿年前。燧石藻时期的藻类是已知最早的光合和固氮生物。因此，它们对地球大气的早期充氧作用作出了贡献，于是为生物圈中所有高等类型的动植物铺平了道路。

现在以前的年代	大事记	地质建造(地层)	化石
0	最早的人	锡伐利克山地层*	拉玛古猿 (<i>Ramapithecus</i>)**
	最早的陆地植物	拉德洛统, 上志留纪(英)	顶囊蕨 (<i>Cooksonia</i>)
	最早的多细胞动物	艾迪亚卡拉山(澳大利亚)***	<i>Spriggina</i> (类似环形类)
10亿	最早的真核细胞	上贝克白云岩地层(加利福尼亚)	未定名
	氧化的大气形成		
20亿	最早的光合和固氮生物	燧石藻地层(安大略)	燧石藻 (<i>Gunflintia</i>)
30亿	最早的已知生物	无花果树(Figtree)地层****	原始细菌 (<i>Eobactirium</i>)
	地壳中的最初岩石海洋形成		
40亿	地壳的分化, 覆盖和核心地壳被放射性加热熔解		
45亿	地球形成		

* 锡伐利克山 (Siwalik Hills) 地层为喜马拉雅山南麓第三纪至第四纪地层。——译者

** 拉玛古猿 (*Ramapithecus*) 是在喜马拉雅山南麓上新统地层中发见的, 与森林古猿同属一个种。——译者

*** 艾迪亚卡拉山 (Ediacara Hills) 地层为南澳大利亚阿得雷德以上45公里, 有寒武纪最初期的海生动物化石。——译者

**** 无花果树统, 是南非洲前寒武系最下部——斯威士兰系的上面地层, 距今约为32—35亿年以前。——译者用化石记录表示的生物圈大致年代表, 表中列出找到化石的地质形成时期以及地球历史中其它主要大事件。资料来自多方面来源。

海洋中的植物生命（许多海生动物靠它们为食）是浮游的或漂流的，这个词的特殊含义常使人误解。组成一个浮游生物组合（planktonic association）的大多数细胞比海水的密度稍大，因而在绝对平静的条件下，它们就会缓慢地下沉到海底。但海洋的表层并不缺少植物细胞因而也不缺少产生食物和氧的能力，这完全归因于海洋的涌动。植物细胞下沉的速度取决于它们的大小、形状和超额密度；当它们下沉时它们分裂，而在上层水中的群体就靠汹涌的上升水流不断地从下向上加以补充。

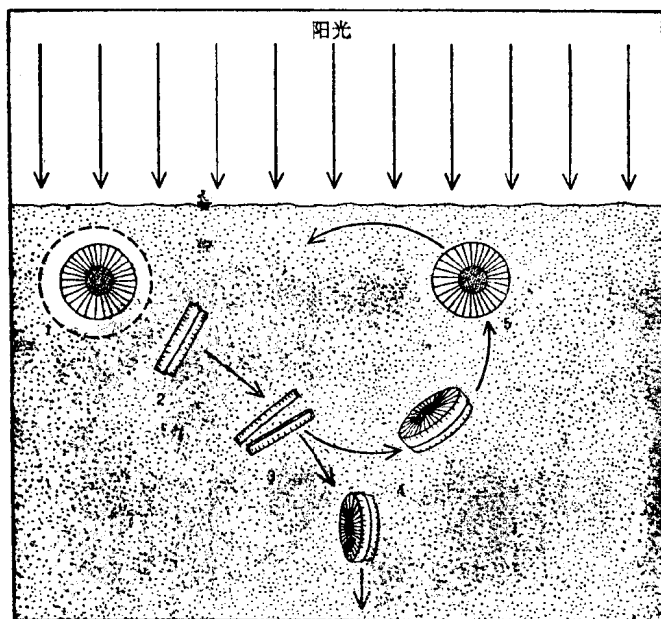


图1.2 浮游植物细胞比海水稍稠密，在绝对平静的条件下会缓慢地沉到海底。细胞以这个方式从一个小水包（虚线），它已从中取走了所有可用的营养物（黑点），移进含有这些物质的另一个小水包。当细胞下沉时它分裂，营养丰富的表水层减少的群体，由于海水上升的涌流而得到补偿，海水上涌时把细胞的一些分裂产物带到表层。本图为一特殊的浮游植物，即圆筛藻（*Cocconeis*）属的一种硅藻。

浮游植物细胞的下沉（图1.2），本身是取得营养的一种最简单的方式，借此一个细胞从一个已耗尽了可用的营养物质的小水包移动到另一个仍含有这些营养物质的小水包中去。这种机理当然仅在细胞及其后代有适当机会回升到水表时才能运行。决定下沉速度的细胞特性，与水流涌动起相互作用，这在生物圈纯液态部分中的重要性，无疑是与骨骼和肌肉结构同地心引力起相互作用一样，对我们来说，就象是我们在居住的固体-气体界面上行走一样。虽然这个观点约在二十年前已经提出，主要是通过海洋学家（Gorden A. Riley）的努力，但是至今仍不能为许多生物学家所承认。

生物圈除向下扩展外，还有一个比较受限制的向上扩展。在高山，绿色植物能生活的高限约为6,200米（在喜马拉雅山上）；这种情况部分是由于缺少液态水，但也涉及到二氧化碳的低压，那里二氧化碳的压力比海面处压力低一半。在更高的地方可以找到象蜘蛛那样的少数动物，这些动物大概靠吃弹尾虫和螨类过活，而后者又用花粉粒和其它有机颗粒维持生活，这些颗粒是被风吹到生态学家 Lawrence W. Swan 称为风积带（图1.3）的高度。

方才看到的为生物圈自由液体部分中简单生物的生活所需要的颇为特殊的情况，这就强调出生活在一个界面上就更容易些，尤其是当界面的一边是固体，虽然许多微生物在平静的水库和沼泽里空气-水界面上生活得很好。象 J. D. Bernal 在多年前就提出的，和水接触的固体物质的表面特性在生命起源和早期发育中很重要，这是很可能的。

光合生产力的研究指出，在自然光照条件下，有最大产量的植物常常是那些最善于

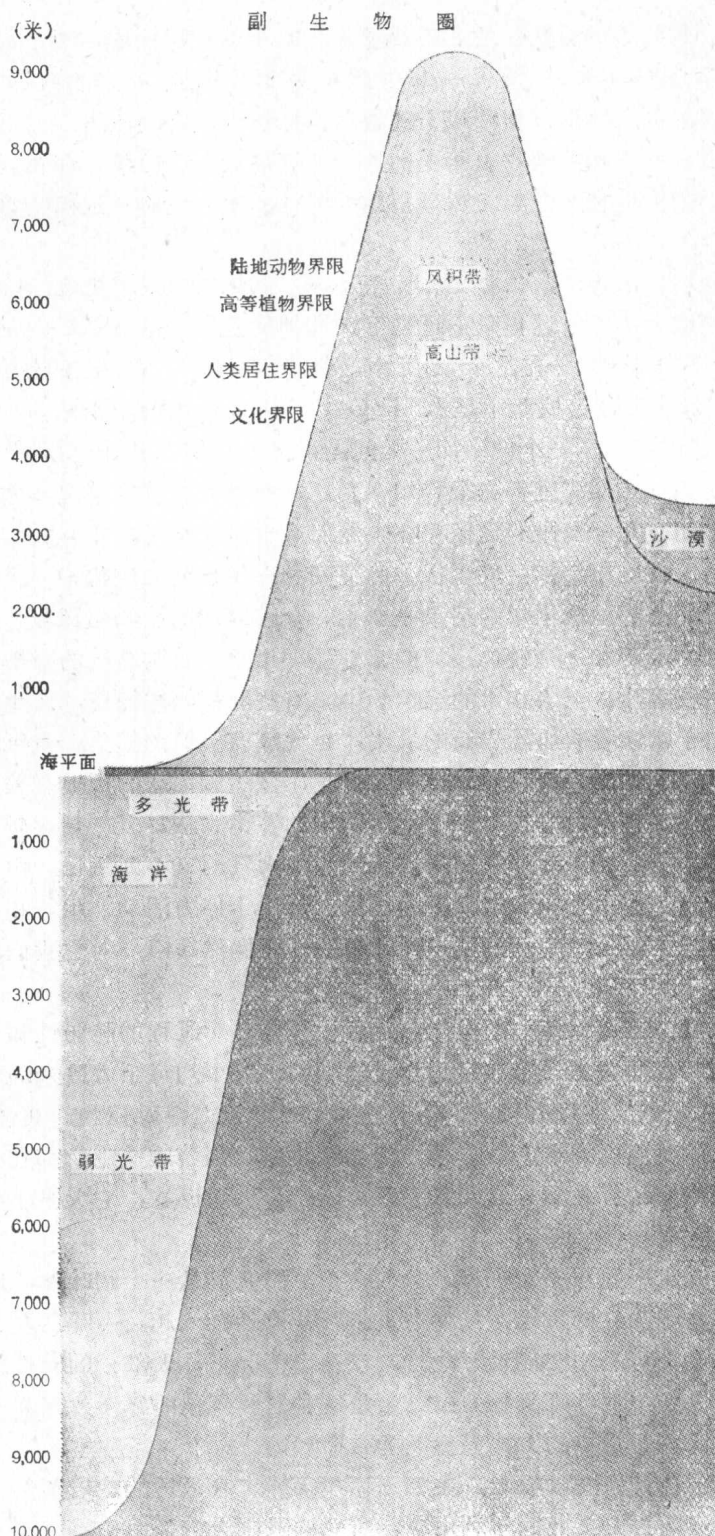


图1.3 生物圈的纵向范围由上面的示意图表示。作为地球一个外套的生物圈,形状不规则,因为它被一个界限不明的“副生物圈”区域所包围,其中有生命的休眠形式,如细菌和真菌的孢子存在。水域的多光带,在一非常混浊的河流中只有几厘米深,而在海洋的最清澈部分可超过100米。

利用所有这三种状态的植物，它们的根部伸入水下的沉积物内，叶子展在空中。甘蔗和最常见的芦苇 (*Phragmites communis*) 就是明显的例子。这样的植物需要的物质有：(1) 水，由根部吸入但由沉积物以上的液层保持相当稳定的压力；(2) 二氧化碳，很容易从气相吸收，在气相中吸收表面上的扩散速度最大；(3) 氧（在夜间），从空气里吸氧也比从水里吸氧更容易；(4) 数量很多的其他元素，它们在沉积物空隙的水溶液中最容易被利用。

生物圈的现代力能学，依靠光合作用还原二氧化碳生成有机化合物和分子氧。然而，业已清楚地知道这个过程只不过是下式几种反应之一： $n\text{CO}_2 + 2n\text{H}_2\text{A} + \text{能量} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O})_n + n\text{A}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ 。在这个反应中，供氢体 H_2A ，在光合硫细菌中是硫化氢 (H_2S)，在蓝绿藻和高等植物中是水 (H_2O)，在非硫紫细菌中则是各种其他有机化合物（最后谈到的情况提出了一个似是而非的问题：光合细胞在其邻近环境中既有大量可代谢的有机物，为什么还要进行光合作用？）。这些反应的真实情况非常复杂，这个过程的有些部分中还有几个交错的途径存在。然而对本讨论来说，重要的事实或许是任何一套这样复杂的偶联反应，都会发生很多的突变和选择以使之进化。

光合作用的全部地球化学的后果是产生一个较氧化的生物圈部分，即大气和溶解有氧的大多数自由水，和一个较为还原的部分，即生物体及其有机的分解产物，这些分解产物存在于枯枝落叶、土壤和水的沉积物中。有些沉积物被掩埋，产生分散的有机碳和化石燃料，由于腐蚀着的原始岩石的氧化，也使氧有类似的损失。有机的（或还原的）碳和无机的（或氧化的）碳转变成化石的数量，显然和地球的历史有关系，但到目前为止，还涉及太多不肯定的事物，难于作出明确的答案。从日复一日运转着的生物圈的观点来看，重要的是，还原部分（活的或死的）被大气的氧不断氧化，由此产生了二氧化碳（又可用于光合作用）和一定数量的能量（可用于体力活动、生长和繁殖）。有用的化石燃料的产生，主要是这个全部可逆循环中的一个偶然缺陷，对它我们已过于信任地依赖。

我们的态度是需要保持一个平衡，这可由压抑整个过程的脆弱性和无效性方面来达到。例如，假若我们考虑一个相当高产量的湖泊，在平均每平方厘米的湖面下，通常可以找到约有2.5毫克的颗粒有机物。假若这种有机物全是浮游植物，其含水量为90%，那么每平方厘米的湖面就约有25立方毫米的光合生物。假若这些生物都在湖面上，就会形成四分之一毫米厚的绿色层。这两种假定无疑都夸大了厚度，它大概不会超过十分之一毫米，或最多不过一张纸厚。

海洋中的总光合物质不会更多，只会更少。当我们从一个阔叶林的底层向上观看时，总会明显看到叶片的重迭，只要有五张叶片重迭在一起，一叶迭在另一叶上，通常就会去掉几乎全部可利用的能量。此外，在这个情况下，大部分的有机物都组成了用以支持和调节蒸发作用的纤维素骨架；结果是这种植物体积的经济效用甚至比浮游植物还要小。能量进入生命世界的方式显然是非常微妙的。

光合效率的估计数变动很大，主要因环境而异。在最适的栽培条件下，陆地上容易达到入射可见光的百分之几的年利用率，所受的限制大概是由于空气的二氧化碳的含量，但是整个陆地面积的总效率似乎是介于0.1—0.3%之间。在水里，在有最高产量的特殊环境下，可能达到很高水平的产量，明显接近光合作用的理论量子效率，但是再把

自然界作为整体来看，其效率的等级通常只有千分之几。在陆地上，落在一株高大植物上的大部分辐射能并没有浪费掉，而是用来供应从叶子蒸腾掉的水流。

通过生活有机体的物质移动涉及到比水里和二氧化碳里所含有的更多的元素。除了碳、氢和氧外，所有的生物都需用氮、磷、硫、钠、钾、钙、镁、铁、锰、钴、铜、锌，大概还有氟，并且有的生物为了特殊的机能，肯定需要铝、硼、溴、碘、硒、铬、钼、钒、硅、锑、银，可能还有镍。少数几种元素很有规律地出现在某些特殊的化合物或场所，例如，脊椎动物肾脏中的镉，或是山核桃叶中的稀土族元素，即便它们不起作用，也很有趣。有些元素现在知道只有在特殊种类的生物中才重要，例如硼在植物中、碘在许多动物中、铬在脊椎动物中或硒在一些植物、鸟类和哺乳类动物中，它们最终可能被证明是普遍必需的。还有更起作用的元素尚有待发现，锆也许是一个好的候选者。甚至稀有微量元素，当它们无疑是起作用的时候，是存在于代谢上善变的组织中，如肝的组织，其存在的数量级是每个细胞中有一百万个原子。虽然有些细菌和藻类能利用铷代替钾，除生长速度减慢外没有其他不利的影响，但是用一种元素代替另一种元素的可能性

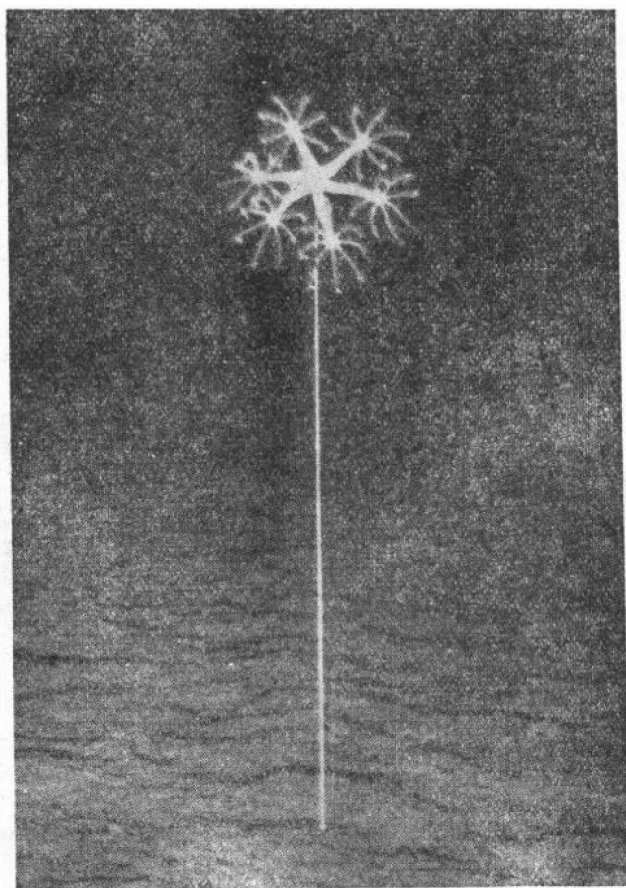


图1.4 生物圈边缘的生命以这个奇异的生物为代表，是最近由美国海军研究海洋学的船舰剑号 (Kane)，用放到深达15,900呎洋底的自动照象机拍摄的，该船当时位于南大西洋距非洲海岸约350哩。这个貌似植物的生物实际上是个动物——缨海鳃科(Umbellulidae)的一个水媳。着生有收集食物的触角的茎约长三呎，以30°角度朝向照象机。

是很小的。我们都知道有些元素的毒性很大（铅、砷和汞就是明显的例子），其实许多有作用的元素当由于在环境中局部过浓，而诱使生物高水平吸收时，也是有毒的。这就意味着每种元素的详细的地球化学，特别在穿过固体-液体界面的过程中，有很大的生物学重要性。

一个元素是否从固态转为液相中的离子形式（生物从这个形式获得该元素），常常因固体-液体分界处的氧化状态而定。在还原条件下，铁和镁作为二价的（双离子化的）离子而自由移动，而在氧化条件下，除非铁被结合成有机的络合物，它基本上是不溶的，而锰通常沉淀成二氧化锰。铬、硒和钒，它们全是被一些生物少量需要的元素，在氧化态时以铬酸盐、硒酸盐和钒酸盐的形式很容易移动，因此和铁的行为正好相反。当还原作用大到足以使蛋白质分解作用中或靠细菌的其他作用产生硫化氢时，铁、铜、锌以及一些其他重金属的硫化物的极端不溶性就限制着这些元素的利用。这类现象意味着在不同的化学条件下，不同的物质决定着有多少生活物质能够存在。

把十九世纪农业化学家的这个限制因子的观点稍微扩大一点来看，在地球的沙漠中

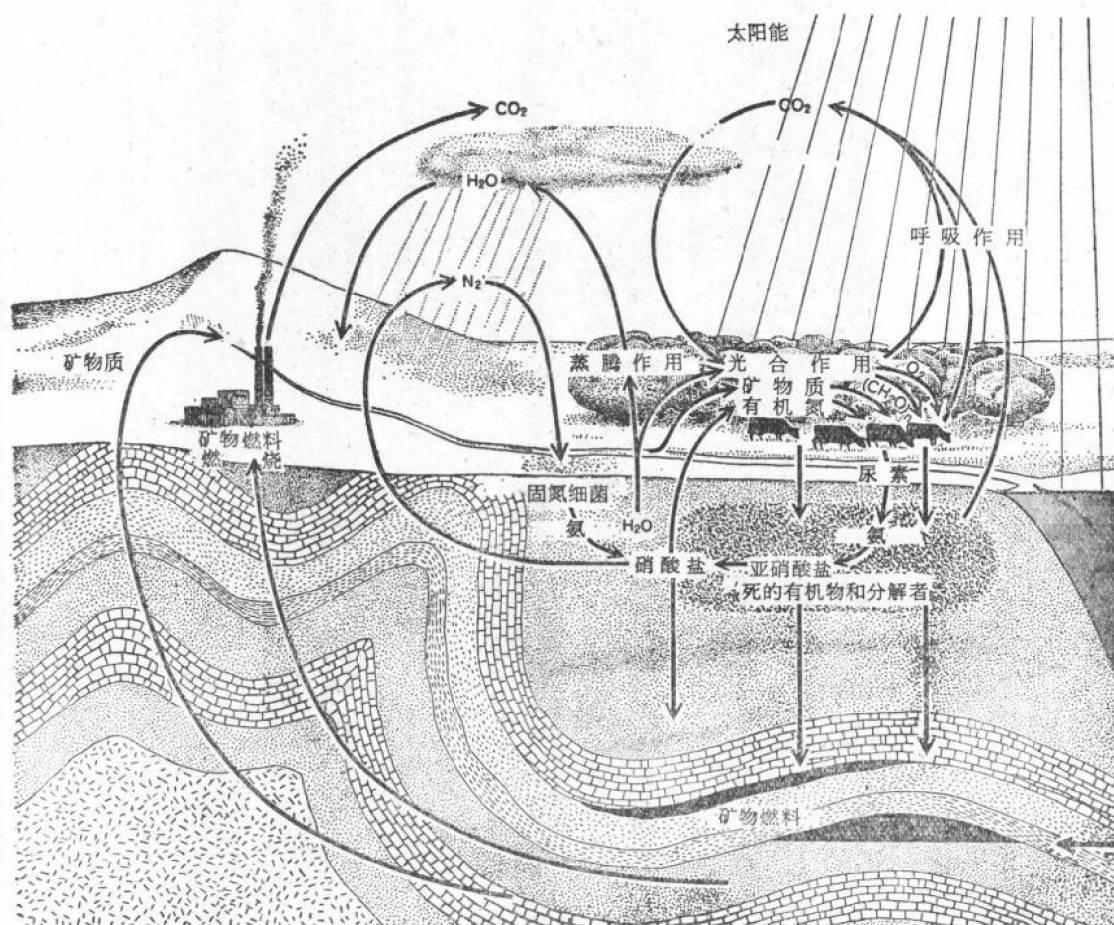
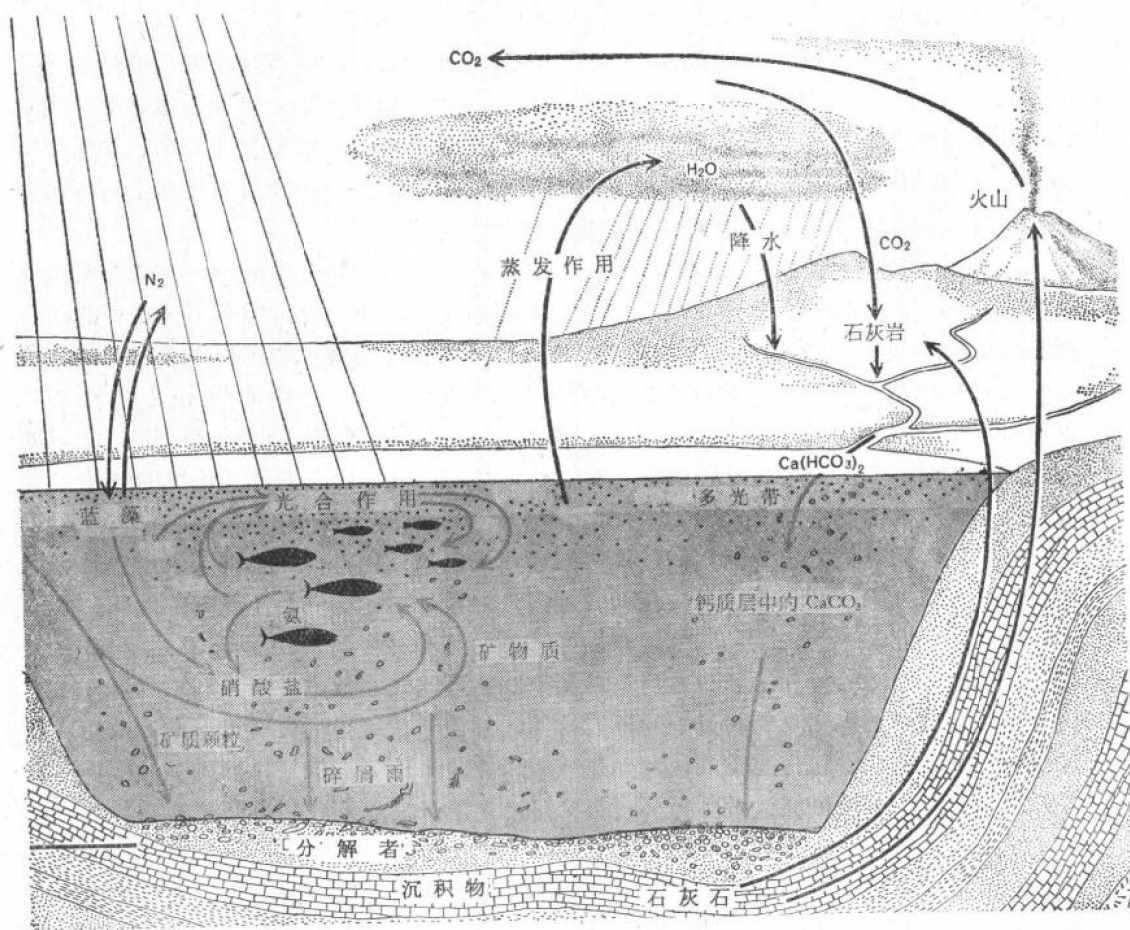


图1.5 本图解为生物圈的一些主要循环的概括形式；特殊循环的较仔细情况随本书以后有关章节介绍。简分子氧 (O_2)。图上也注明其他几个重要的元素的循环。

显然是氢和氧以水的形式决定着生命的数量。最好的研究结果指出，海洋的蓝色水中铁的缺乏通常起限制作用，这种元素可能只以分散的氢氧化正铁存在，如果它附着在浮游植物的细胞壁上，就能被这些细胞利用。在一个居中的情况下，如在相当潮湿区域的天然陆地土壤中，或在一个湖里或内海里，磷可能是最常见的限制元素。

磷在控制自然界生物数量的意义，不仅在于它在生物学上很重要，而且也因为它在轻元素中是相对稀少的。作为一个奇数原子序数的元素，在宇宙中它比周期表中的两个相邻元素——硅和硫，几乎少两个数量级。此外，在铁陨石中发现磷聚集在铁-镍磷化物——陨磷铁镍石中，所以最初供给地球的磷，有一大部分象是收藏在我们行星的金属核心里。因此，可利用磷的量最初就受到宇宙发生和行星发生过程的限制。在生物圈中，这个元素在还原的但不是过分碱性的条件下是自由移动的，由于还原铁的供应几乎总是超过磷很多，所以氧化作用不仅沉淀铁也沉淀磷，成为很难溶解的磷酸正铁。

在许多高产地区，那里磷是适度地接近于生物固定的氮量，因此在水里或土壤里这两种元素的比例大约和在生活有机体中的比例会趋向一致。在这样的环境中，磷和氮



单地说，生物圈的运行依赖于利用日光能将大气的二氧化碳(CO_2)进行光合还原，形成有机化合物(CH_2O)和

都是限制因子；单单加入二者之一，只很少增加或是不增加水培中或与环境隔离的任何其他系统中的生活物质，而加入二者就常常导致生活物质的大量增加。氮就是限制因子的地方，可能是由于扰乱了固氮生物（主要是水里的蓝绿藻和土壤中的细菌）和生物群丛的其他成员之间的生态平衡所造成的后果。氮的限制从来不是由于缺少这种元素，因为它是大气中最普通的气体，而是决定于特殊的生物固氮机理的活动水平，生物固氮作用和光合作用有联系，但固氮作用只保留在原始生物里，在这个过程中氮分子(N_2)的两个原子被分离开，并由它们形成蛋白质和其他有机化合物的氨基($-NH_2$)。

假若生物圈正常连续运转，生物学上重要的物质必须进行循环的变化，以致它们在利用之后，又转变成可以再被利用的形式，这时要消耗一些太阳能。陆生生物的有机物，来自大气中的二氧化碳，这些有机物的循环速度以数十年计。至于钙，它以碳酸氢钙 $[Ca(HCO_3)_2]$ 形式从大陆岩石被带入河流，并以碳酸钙($CaCO_3$)形式在海洋中沉淀，主要成为多孔虫的微小外壳形状，钙归还大陆，大部分必然是来自海洋底层朝向海岸造山地带的运动；循环的归还速度大概是以几亿年计的。磷的情况也象钙，氮则更象碳，当然氮在大气中的储藏要多得多，并且这个元素的生物固定不象碳那样广泛，在能量上也消耗更大。

目前人为地把一些元素以流动的形式喷射入海洋和大气，这种情况发生的速度远比工业化以前的日子里要快得多；有新循环出现了，这些新循环把象铅和汞这样的元素，还有相当稳定的新化合物如杀虫剂和脱叶剂，以致毒的剂量广泛地散布开来。如果生命要在生物圈中继续下去的话，那么显然就需要加强研究所有这些物质对地球上这薄层微妙的并在地球化学上效率很差的绿色覆盖可能发生的作用。

我们已在检查的系统是怎么发生的？现在有几个新事实看来很清楚，有几个新推论也是合理的。我们知道大气中氧的现在供应不断由光合作用补充，假若不是这样的话，那么氧就会在风化中的亚铁氧化为正铁以及硫化物氧化为硫酸盐的过程中缓慢用尽。所有的证据都指出地球的大气是次生的。气体氮在宇宙里富有，但在化学上是惰性的，它和水几乎有同样的分子量，和水相比，它在大气里极为稀少，这个事实表示（如Harrison Brown在25年前已经指出的那样），只有能够结合在固体大地里的气体才能参与次生大气的形成。靠将水光解（照字意讲是“靠光分解”）和靠将水热分解可以缓慢形成氧，同时把氢丧失到空间，这种缓慢产生氧的过程甚至在早期大气里也是可能的，但是大家几乎一致认为这只会在地表处或近地表处引起物质的小量局部氧化。

水汽、甲烷、一氧化碳、二氧化碳、氨和氮的某种混合物大概创造了这个次生大气。我们从室内实验得知，当有适当的能源（如紫外线或是放电）可供应用时，许多有机化合物，实际上包括生物高分子的所有构件，都能够在这样的空气中形成。我们从陨石的研究中，也知道这样的合成曾发生在地球以外的条件下，但是也形成了对生物没有意义的许多物质。只可能靠对小行星进行探讨，才能最后得到在一个破裂的行星上，生物出现以前有机物合成所需的那种环境的证据。

无论如何，我们能够合理地相信，在我们星球历史的早期阶段，生物未存在前的大部分有机物的合成，是在地球上还原条件下发生的。最适当的能源会是太阳的紫外线辐射。因为缺乏一个氧屏幕，有些最重要的化合物不仅被这个可用的波长产生，也被它破坏，那么，导致最初的生活物质产生的过程，可能是在特殊的有结构的条件之下进行

的。这些合成过程可能在一个原始池沼系统或是浅海洋上面的水汽和气体里发生，而在海洋底部，多少被液态水所遮盖，有些产物在粘土颗粒上的聚合过程或是靠其它过程可能进行过。

生物已经发生的第一个迹象是在南非无花果树 (Fig-tree) 地质建造时期，有类似细菌的结构存在；这些化石被认为是稍早于三十亿年前形成的。从斯威士兰得到的含碳燧石，比上述化石还早，曾为在圣巴巴拉的加利福尼亚大学的 Preston Cloud 检查过，他没有找到生物的任何征兆。最古老的并且是真正给人深刻印象的微生物区系是来自安大略的燧石藻 (Gunflint) 建造时期，约在二十亿年前(见图1.1)，这个区系是由哈佛大学的 Stanley A. Tyler 和 Elso S. Barghoorn 描述过的。从那个形成时期的沉积岩看来，含有真正的丝状蓝绿藻，它们无疑是既能光合作用也能固氮。可能是蓝绿藻暗礁成分的细胞结构，肯定发生在稍早于二十亿年前。从 Barghoorn、Cloud 和其他人（他们终于给我们一个真正的前寒武纪古生物记录）的工作，可以得出的最合理的结论是，约在三十亿年前左右远在个别异养生物出现之前，生物化学的演化已经进行。

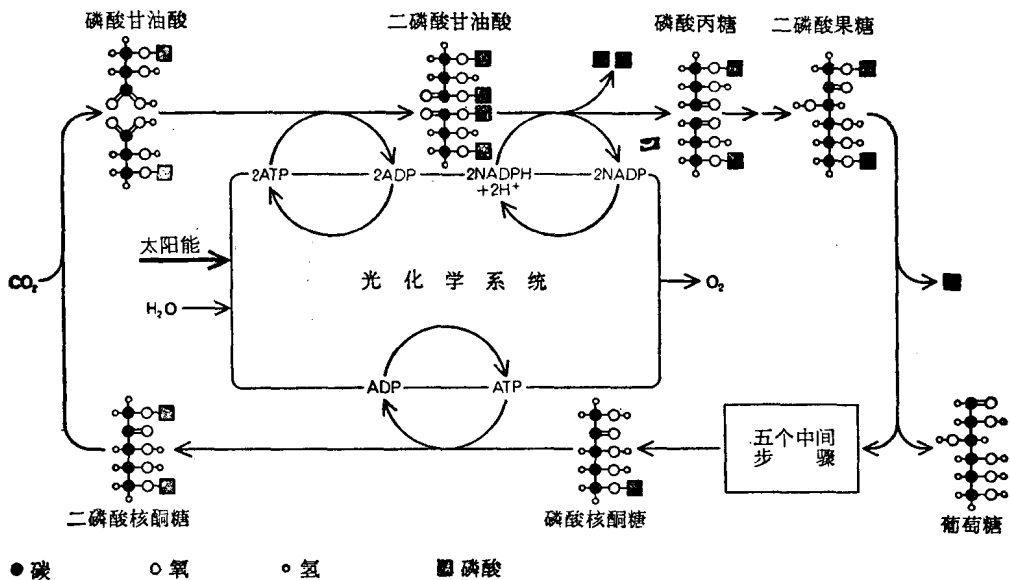


图1.6 光合作用：维持地球上生命的基本过程，由陆地植物、淡水藻类和海中的浮游植物所完成。它们利用阳光所含的能量，把二氧化碳和水转化为某种形式的碳水化合物（如葡萄糖），同时释放氧作为废物。上面简图表示这个环式过程，在此过程中一个二氧化碳分子与一个五-碳分子——1, 5-二磷酸核酮糖结合，这个化合物预先由五个二氧化碳分子组成。光化学系统靠将二磷酸腺苷 (ADP) 转化为三磷酸腺苷 (ATP)，将菸磷酸酰腺嘌呤二核苷酸 (NADP) 转化为其还原形式的NADPH，吸收了部分进入的太阳能。需要两个分子的NADPH和三个分子的ATP来固定一个分子的二氧化碳。CO₂的碳原子可以参加多种化合物，并从环中的几个点上移去。

这些异养生物（正如它们命名的含意，从外界形成的有机分子取得营养）能够在发酵代谢中，利用向下扩散的有机化合物，但是它们生活在足够深的水里或是冲积物里，这样可以避免太阳的紫外线辐射的破坏性效应。约在稍少于另一个十亿年以后，原核细胞——没有充分发育的有丝分裂机制，也没有线粒体——已经开始进行光合作用。这些

进化的结果，终于把生物圈从古老的异养发酵情况完全转变为新的自养的（自己营养）、呼吸的和主要是氧化的状态。这个变化发生有多快，我们还不知道，但它肯定是地球上曾发生过的最大的生物革命。这个革命的净效果无疑是大量的无能的原始生物的绝种，它们不能忍受氧气，以及它们被更有效的呼吸类型所代替。

Cloud和他的同事近来找到了真核细胞——有充分发育的有丝分裂机理，也有线粒体——的证据，这约在12—14亿年前。近代真核细胞的兴起是含氧大气所加的新条件的主要结果，这样考虑还是合理的。此外，波士顿大学的 Lynn Margulis 使人信服地搜集了分散的但是广博的证据，证明这个反应是一种很特殊的类型，涉及到原核细胞变种间的多样共生；因而形成进化上的一步跃进，与所有其他已知发生过的很不相同。

如果最初的真核细胞在12—14亿年前兴起，就会有一半这样长的时间可供软体的多细胞生物进化，因为动物骨骼的最初化石是在寒武纪初期约6亿年前沉积的。虽然详细历史的大部分还有不少空白，我们确实有一个看来明显的年代表。

如果不过于严肃地对待关于预期的太阳和太阳系寿命的任何估计，显然生物圈还能够居住很长时间，几倍于估计的人属(*Homo*)这个历史，这可能是两百万年。我们作为生物圈的居民，应当把我们自己看作是在我们的幼年时代，尤其当我们发作破坏性的暴躁冲动的时候。然而有许多人根据累积的和合理的客观证据正在下结论说，生物圈作为生物可居住地区的寿命，是以几十年来衡量而不是几亿年。这完全是我们人类本身的错误。看来不是不可能我们正在接近一个危机，这个危机可以和当氧气开始在大气里累积时发生的情况相比。

无可否认区别是存在的。产生氧的最初光合生物可能会对我们现在呼吸的这个新毒气（即指氧气）的致死效应已经免疫。另一方面，我们的机器可能对一氧化碳、铅和DDT免疫，但是我们可不是。由于大气中二氧化碳数量的增加，农业生产力有微小的增长，除此以外，还很难看出我们污染生物圈所用的各种污物如何成为进一步革命的基础。虽然如此，值得注意的是当真核细胞在前寒武纪中期发生时，这个过程很可能涉及到一个从未有过的新型的进化发展。如果我们要继续在生物圈中生活，大概我们也必需引进从未有过的过程。

近代生物地球化学的奠基者，Вернадский 是一位俄国的自由主义者，在十九世纪长大。他接受了俄国革命，在1917年以后作了他的大部分工作，虽然他的大批哲学论文离马克思主义者很远。他于1945年1月6日去世，在快去世之前，他给他的朋友和从前的学生 Alexander Petrunkevitch 写信说：“我对前途很抱乐观。我想我们是经历着一个不只是历史的变化，也是一个星球的变化。我们生活在朝向智慧圈（noosphere）的过渡时期中。Вернадский 所谓的智慧圈的意思是智慧的领域，这是去取代生物圈、生命的领域。不幸的是，在这些话写过后的四分之一世纪表明了人类对生物圈铸成的大部分变化是多么愚蠢！虽然如此，Вернадский 所谓的过渡，在它最深刻的意义上讲，是人类把自己的生存时间削短几百万年的唯一另外选择。本书以下各章将介绍关于如何实现这一条选择而得到的许多有用的建议。

参 考 文 献

- [1] La Biosphère. W. Vernadsky (В. И. Вернадский). Libraire Felix Alcan, 1929.
- [2] The Ecological Theater and the Evolutionary Play. G. Evelyn Hutchinson. Yale University Press, 1965.
- [3] Origin of Eukaryotic Cells, Evidence and Research Implications for a Theory of the Origin and Evolution of Microbial, Plant, and Animal Cells on the Precambrian Earth. Lynn Margulis. Yale University Press, 1970.

(祝宗岭、李季伦译)