

---

# 环境保护学基础

---

〔美〕Gilbert M. 著

胡 柳 译

道 源 校

四川省预防医学情报网  
川东北卫生宣教协作区

印

一九八一年九月

## 说 明

美国加利福尼亚大学教授Gilbert M. 所著环境科学技术导论《Introduction to Environmental science and Technology》，是环境保护学基础理论和工艺技术的专著。这本中译本定名为《环境保护学基础》。

环境保护学，是七十年代新兴的一门边缘科学，它涉及的范围如物理学、化学、医学、工程学、生物学、数学乃至社会科学等等，领域非常广泛。

自党的三中全会以来，我国环境保护事业，受到极大的关注，颁布了环境保护法律，建立了各级专业管理体制，出版了许多专业期刊杂志，开展了大量的调查研究工作，取得了许多成绩。但目前国内的书刊中，多侧重于治理方法、经验交流或科研成果介绍，至于环境保护学基础理论的专著，尚不多见。有鉴如此，译者等人，旨在弥补这一缺陷，基于“为我所用”的原则，谨将这本专著全文译出。原著虽然是一九七四年的版本，但对我国目前的状况，仍然实用，翻译的目的，全在于实用。

该书的特点，立足全球，着眼未来，内容相当丰富，比较系统地、详细地阐述了影响环境的各种因素，涉及各类污染问题，题材宽广；甚至到公元2000年或2050年，世界范围内可能出现的景象，都作了科学的推断。对美国目前一些环境保护政策、法规和各种工艺技术措施也作了介绍，以期达到增进人类健康的目的。

该书用大量篇幅，着重讨论水污染和大气污染问题；至于土壤污染，虽未立专章，但在有关章节中已有论述。噪音污染未予提及，乃该书不足之处。

在水污染篇中，提到了缺水和陆地下沉；灌溉和盐份积累；河口、海港今后的变化；热污染等问题，针对这些问题的前因后果和处理措施，都有明确的阐述；并针对阿斯旺（埃及）水坝利弊得失和其他大型水坝的严重后果作了分析，对我国今后兴修水利工程有参考意义。并提出用Liebig's最小量定律解释湖泊污染富营养化和加强保护理由之所在，对我国今后湖泊的治理规划，也有实用价值。

在大气污染篇中，强调了“污染气象学”，提出各种逆温层形成的原因，介绍了美国及全球的逆温层情况，为今后工业布局、城市规划和地点选择，提供了科学论据。对光化学烟雾也作了详细介绍，并提出了预防措施；还指出超音速飞行器能破坏大气中的臭氧层，可引起人类皮肤癌变增多的情况。这些论点，对我国今后工业城市的建设规划，也有参考价值。

该书指出，能源是目前最引人注目的问题，从全球角度考虑，煤炭，石油等矿物燃料，不但有热污染，环境污染等问题，而且储备量亦有限，相反地，人们对能量的消耗正日益加剧。从而对核能及其安全性，新能源，未来能源；原料储备，分布、使用上的不平衡，今后将会出现的矛盾。特别是对食物生产，人口增殖；环境污染，遗传效应；生态效应等一系列问题，都作了较详细的说明。并对未来的前景作了科学的预测。

环境科学是一门综合性的科学，凡涉及到有关各专业学科时，该书力求深入浅出，由简到繁地从概念上理论上着意扼要说明，让读者便于吸收理解，容易弄懂，领悟其要领。对我国目前从事环保、科研、卫生防疫等部门各级各类人员均有所裨益。

该书分四篇十五章，约20万字；插图200余幅。插图承文良华同志描绘；征订事宜承张德综同志等效劳，特表谢意！

译者水平有限，错误或不妥之处，在所难免，恳请国内同行指正幸。

——译者



# 目 录

|                  |      |
|------------------|------|
| 第一篇 生态学与人口       | (1)  |
| 第一章 生态学的一些原理     | (1)  |
| 1.1 生态系统         | (1)  |
| 1.2 食物网和种群的稳定性   | (3)  |
| 1.3 生物化学循环       | (6)  |
| 1.4 太阳能和大气       | (8)  |
| 1.5 光合作用和呼吸      | (10) |
| 1.6 通过生物圈的能量流通   | (10) |
| 1.7 结束语          | (13) |
| 第二章 人口动态         | (13) |
| 2.1 一些生物学增长曲线    | (14) |
| 2.2 指数样增长        | (15) |
| 2.3 人类的人口增长      | (17) |
| 2.4 年龄组成         | (21) |
| 2.5 生育能力         | (23) |
| 2.6 人口增长的趋势      | (24) |
| 2.7 结束语          | (26) |
| 第三章 食物生产         | (28) |
| 3.1 人类食物需要量      | (23) |
| 3.2 蛋白质          | (31) |
| 3.3 食物链的损失       | (33) |
| 3.4 海中食物         | (34) |
| 3.5 陆地           | (35) |
| 3.6 增加产量         | (36) |
| 3.7 农药           | (37) |
| 3.8 杀昆虫剂         | (38) |
| 对非对象生物体效应        | (40) |
| 生物抗药性            | (41) |
| 对捕食者——被捕食动物关系的影响 | (42) |
| 综合控制             | (43) |
| 3.9 结束语          | (43) |

第二篇 水污染 ..... (45)

第四章 水资源..... (45)

4.1 水循环 ..... (45)

4.2 美国的水资源和利用 ..... (46)

4.3 地下水 ..... (48)

4.4 水坝和水库 ..... (51)

4.5 灌溉和盐类的积累 ..... (52)

4.6 浮夸的水利工程 ..... (53)

4.7 结束语 ..... (54)

第五章 水污染物..... (55)

5.1 污染物的类型 ..... (55)

5.2 水生态系 ..... (56)

5.3 溶解氧 ..... (56)

5.4 分解 ..... (57)

5.5 生化需氧量 ..... (57)

5.6 氧沉降曲线 ..... (59)

5.7 热污染 ..... (59)

5.8 重金属和酸性矿排水 ..... (61)

汞 ..... (61)

镉 ..... (62)

酸性矿排水 ..... (62)

5.9 结束语 ..... (62)

第六章 富营养化..... (63)

6.1 光线的穿透 ..... (63)

6.2 Liebig's 最小量定律..... (64)

6.3 洗净剂 ..... (66)

6.4 温热分层 ..... (66)

6.5 分层和溶解氧 ..... (68)

6.6 可改变的富营养化 ..... (68)

6.7 北美五大湖 ..... (70)

6.8 结束语 ..... (72)

第七章 水和废弃物的处理..... (73)

7.1 生物学的健康危害 ..... (73)

7.2 城市供水和污水系统 ..... (74)

7.3 水质标准 ..... (75)

7.4 水处理原则 ..... (77)

7.5 去盐 ..... (77)



|         |                    |        |
|---------|--------------------|--------|
| ( 831 ) | 7.6 污水处理原理 .....   | ( 80 ) |
| ( 131 ) | 7.7 一级和二级处理 .....  | ( 81 ) |
| ( 691 ) | 7.8 三级处理 .....     | ( 83 ) |
| ( 631 ) | 7.9 水污染的管理费用 ..... | ( 84 ) |
| ( 021 ) | 7.10 结束语 .....     | ( 86 ) |
| ( 121 ) |                    |        |

### 第三篇 空气污 染..... (87)

#### 第八章 空气污染导论..... ( 87 )

|         |                     |         |
|---------|---------------------|---------|
| ( 221 ) | 8.1 概说 .....        | ( 87 )  |
| ( 231 ) | 8.2 散发源 .....       | ( 88 )  |
| ( 821 ) | 8.3 光化学烟雾 .....     | ( 90 )  |
| ( 721 ) | 8.4 呼吸系统疾病 .....    | ( 91 )  |
| ( 111 ) | 8.5 空气污染事件 .....    | ( 92 )  |
| ( 241 ) | 8.6 慢性健康效应 .....    | ( 94 )  |
| ( 141 ) | 8.7 一氧化碳 .....      | ( 95 )  |
| ( 541 ) | 8.8 氮氧化物 .....      | ( 96 )  |
| ( 841 ) | 8.9 碳氢化物 .....      | ( 96 )  |
| ( 641 ) | 8.10 硫氧化物 .....     | ( 97 )  |
| ( 140 ) | 8.11 微粒 .....       | ( 98 )  |
| ( 131 ) | 8.12 危险的空气污染物 ..... | ( 99 )  |
| ( 721 ) | 8.13 空气清洁条例 .....   | ( 100 ) |
| ( 122 ) | 8.14 结束语 .....      | ( 101 ) |

#### 第九章 空气污染气象学..... (102)

|         |                      |         |
|---------|----------------------|---------|
| ( 821 ) | 9.1 大气 .....         | ( 102 ) |
| ( 021 ) | 9.2 大气的稳定性 .....     | ( 103 ) |
| ( 621 ) | 9.3 海德里环型和沉降逆温 ..... | ( 105 ) |
| ( 121 ) | 9.4 逆温的其他起因 .....    | ( 106 ) |
| ( 621 ) | 9.5 事件日 .....        | ( 108 ) |
| ( 121 ) | 9.6 全球气候变化 .....     | ( 110 ) |
| ( 121 ) | 9.7 城市影响 .....       | ( 111 ) |
| ( 301 ) | 9.8 超音速运输机 .....     | ( 113 ) |
| ( 121 ) | 9.9 空气污染模拟 .....     | ( 114 ) |
| ( 801 ) | 9.10 结束语 .....       | ( 116 ) |

#### 第十章 空气污染管理技术..... (117)

|         |                     |         |
|---------|---------------------|---------|
| ( 231 ) | 10.1 流动的发生源 .....   | ( 117 ) |
| ( 121 ) | 10.2 散发物标准 .....    | ( 118 ) |
| ( 021 ) | 10.3 内燃机的小型改进 ..... | ( 121 ) |
| ( 121 ) | 10.4 排气系统设计 .....   | ( 123 ) |

|        |                      |         |
|--------|----------------------|---------|
| ( 08 ) | 10.5 燃料更换.....       | ( 123 ) |
| ( 18 ) | 10.6 非常规发动机.....     | ( 124 ) |
| ( 88 ) | 10.7 固定发生源尘粒的控制..... | ( 126 ) |
| ( 18 ) | 10.8 硫、氮氧化物的控制.....  | ( 129 ) |
| ( 88 ) | 10.9 空气污染费用.....     | ( 130 ) |
|        | 10.10 结束语.....       | ( 131 ) |

## 第四篇 能量及原料..... ( 132 )

|         |                        |         |
|---------|------------------------|---------|
| ( 78 )  | 第十一章 能源和能量消耗.....      | ( 132 ) |
| ( 88 )  | 11.1 能和功率.....         | ( 132 ) |
| ( 08 )  | 11.2 能量消耗.....         | ( 133 ) |
| ( 18 )  | 11.3 石油资源.....         | ( 137 ) |
| ( 88 )  | 11.4 天然气资源.....        | ( 141 ) |
| ( 18 )  | 11.5 煤资源.....          | ( 142 ) |
| ( 68 )  | 11.6 非矿物燃料的能源.....     | ( 144 ) |
| ( 88 )  | 11.7 能量保护.....         | ( 145 ) |
| ( 88 )  | 11.8 结束语.....          | ( 148 ) |
| ( 78 )  | 第十二章 电能和电功率.....       | ( 149 ) |
| ( 88 )  | 12.1 发电容量.....         | ( 149 ) |
| ( 08 )  | 12.2 电能消耗.....         | ( 151 ) |
| ( 001 ) | 12.3 住宅消耗.....         | ( 153 ) |
| ( 101 ) | 12.4 电力的发生.....        | ( 155 ) |
| ( 801 ) | 12.5 温热效率.....         | ( 157 ) |
| ( 801 ) | 12.6 冷却水需要量.....       | ( 158 ) |
| ( 801 ) | 12.7 温热污染的管理.....      | ( 160 ) |
| ( 801 ) | 12.8 环境影响 (矿物燃料) ..... | ( 162 ) |
| ( 801 ) | 12.9 结束语.....          | ( 163 ) |
| ( 80 )  | 第十三章 放射与核能.....        | ( 163 ) |
| ( 011 ) | 13.1 原子结构.....         | ( 164 ) |
| ( 111 ) | 13.2 放射性.....          | ( 164 ) |
| ( 811 ) | 13.3 放射物暴露的效应.....     | ( 166 ) |
| ( 111 ) | 13.4 慢性暴露与核功率.....     | ( 166 ) |
| ( 811 ) | 13.5 核裂变.....          | ( 168 ) |
| ( 711 ) | 13.6 核反应堆.....         | ( 170 ) |
| ( 711 ) | 13.7 放射性废弃物.....       | ( 173 ) |
| ( 811 ) | 13.8 反应堆安全.....        | ( 174 ) |
| ( 181 ) | 13.9 结束语.....          | ( 176 ) |
| ( 88 )  | 第十四章 新能源和未来能源.....     | ( 177 ) |



|                          |                  |              |
|--------------------------|------------------|--------------|
| 14.1                     | 快速增殖反应堆.....     | (177)        |
| 14.2                     | 地热能 .....        | (179)        |
| 14.3                     | 太阳能.....         | (182)        |
| 14.4                     | 聚变能.....         | (185)        |
| 14.5                     | 其它新能源.....       | (187)        |
| 14.6                     | 结束语.....         | (188)        |
| <b>第十五章 矿物资源的耗竭.....</b> |                  | <b>(189)</b> |
| 15.1                     | 美国的矿藏消耗.....     | (189)        |
| 15.2                     | 矿物储备和未来的可获性..... | (193)        |
| 15.3                     | 环境影响.....        | (196)        |
| 15.4                     | 进口和支付问题的平衡.....  | (196)        |
| 15.5                     | 资源的控制.....       | (199)        |
| 15.6                     | 资源的不均衡消耗.....    | (200)        |
| 15.7                     | 回收和再循环.....      | (202)        |
| 15.8                     | 结束语.....         | (204)        |

**原版各章附有参考文献和思考问题从略**

**1.1 生态系统 (Ecosystems)**

在进行研究前,有一些重要术语必须加以定义。一个种群的生物个体的群集叫种群 (Population), 指居住在一块地区内生物群落或群落 (Community)。群落同与其相互作用的大生物环境合起来是一个生态系统。如生物与物质环境相互作用的全部地球的有机体叫做生物圈, 则称之为生态圈 (Biosphere) 或生物圈 (Biosphere)。

池塘、河流、草地和森林是经常研究的典型的一些生态系统。现在来探讨任一生态系统的主要成分并查看它们如何在一起相互作用。

一个生态系统所利用的全部能量的原始源泉是太阳。绿色植物光合作用 (photosynthesis) 时获得了太阳能并以化学形式储存起来为以后植物本身利用或为消费过该植物的任何其它生物利用。植物被称为生产者 (producer) 或自养者 (autotrophs, self-feeding)。

而以植物为食的动物称为食肉动物或消费者 (consumer) 或他养者 (heterotrophs, other-feeding)。消费者还可分为如图 1.1 所示者。营养关系的这个链状描述叫作食物链 (food chain), 每个环节叫做营养级 (trophic level), 后面可以看到在每一营养级有多数能量被转化为热能消失以及食肉动物为食肉动物所食。

植物 → 食草动物 → 食肉动物 → 食肉动物



图 1.1 食物链中各营养级的名称

# 第一篇 生态学与人口 (Ecology and Popullation)

## 第一章 生态学的一些原理 (Some Principles of Ecology)

对于地球上一切类型生命的历史来说，人类是一个晚期出现的现象。约在20亿年以前，藻类 (algae) 已通过光合作用释放氧到大气中，这样便助成了后来的较高类型的生命 所必需的条件。人类的出现是较晚的，约在200万年以前，那时人类的数量和对生物界的作用 仍然较小，直到约8000年以前农业的发明。我们可以把这个时期作认识自然的开始，其未曾料到的一些付作用是本书研讨的主要课题。

在进行研究人类对地球环境系统的影响前，需要考虑这些系统如何正常地活动；即需要研究生态学 (Ecology)。Ecology这个词约在100年前来源于希腊文Oikos，它的意义是“家族” (house)，现在已转意为“有机体与环境之间关系的总体 (totality) 或型式” (Pattern) 的学科 (Webster大字典)。

### 1.1 生态系统 (Ecosystems)

在进行研讨前，有一些重要术语需要给以定义。一个种属的生物个体的 群集叫种群 (population)，生活在一定地区的全部种群形成群落 (Community)。群落同与它相互作用的无生命的环境便是一个生态系统。如果把与物质环境相互作用的全部地球的有生命机体看作一个整体，则称之为生态圈 (Ecosphere) 或生物圈 (Biosphere)。

池塘、河溪、草地和森林是经常研究的典型的一些生态系统。现在来检阅任一生态系统的主要成分并查看它们如何在一起相互作用。

一个生态系统所利用的全部能量的原始源泉是太阳。绿色植物光合作用 (photosynthesis) 时获得了太阳能并以化学形式储存起来为以后植物本身利用或为消费这一植物的 任何其它机体利用。植物被称为生产者 (producer) 或自养者 (autotrophs, self-feeding)，而以植物为食的机体或相互为食的机体叫作消费者 (Consumer) 或他养者 (heterotroph, other-feeding)。消费者还可再分为如图1.1所示者。喂养关系的这个线状描述叫作食物链 (food chain)，每一个等级叫营养级 (trophic level)，后面可以看到在每一营养级有多少能量被转化为热而消失以及食物链罕有超过四级或五级者。简单的四级食物链可以是：

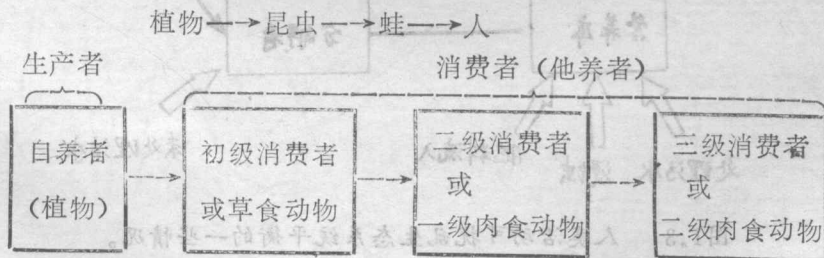


图1.1 食物链中每一营养级的名称

除生产者和消费者外，一个生态系统的生物 (biotic) (或生活living) 部分必须有 分解者 (decomposer)。分解者主要是细菌和真菌，它们的能量来源于生态系统中的废弃 产物和死亡的机体，在分解时它们做了无价的工作，把复杂的有机分子转变为简单的 无机 型式，以便生产者重新利用。

图1.2 示出能量和营养物 (氮、磷、硫 等) 通过生态系统的移动。这里有两个基点需 要强调：第一点是营养物以环状形式通过生态系统而移动。在这样移动时，它们并不出现任 何情况的降级而可一次一次地再循环。本章的后面将追踪这一较重要的营养物通过生物圈的 移动于所谓的生物化学循环 (biogeochemical cycle) 中。第二点是能量通过生态系统的移 动并不呈圆环状，实际上是一个单向过程 (One-Way process)。能量被机体利用来作为 活动和生长的燃料，以后以热的形式消失。因此，能量必须不断地由太阳补充以保持此系统 进行工作。这两个重要的概念将在后面详细讨论。

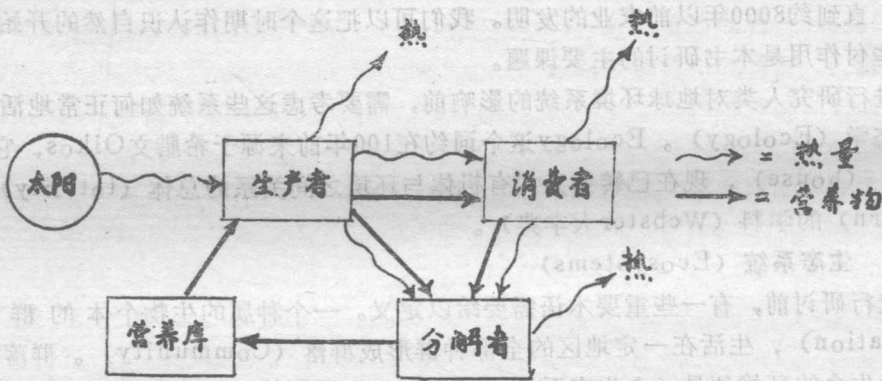


图1.2 营养物通过生态系统环状移动，但能量必须经常由太阳更新。

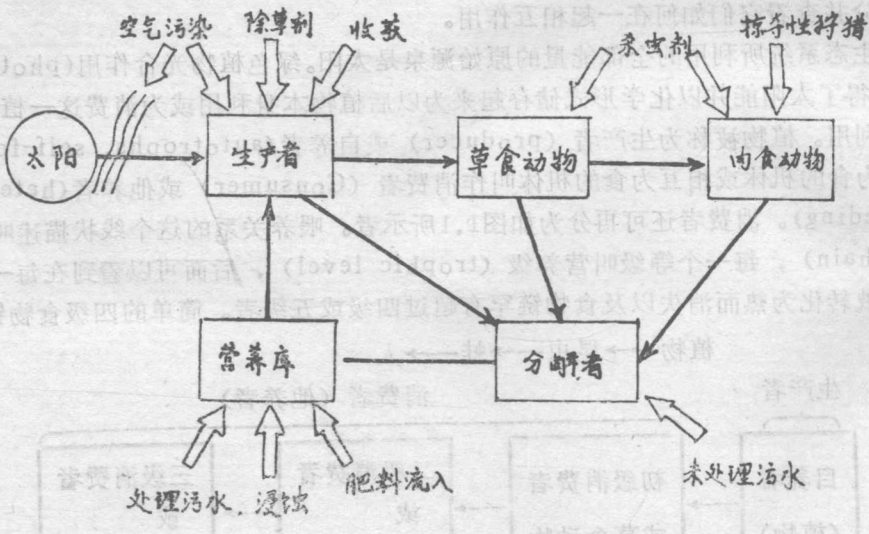


图1.3 人类活动可扰乱生态系统平衡的一些情况。

图1.3说明了人类活动能扰乱一个已经平衡了的活动的生态系统许多方面的一些情



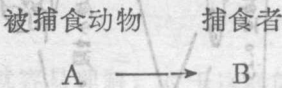
况。空气污染不仅损害了植物，也减少了达到它们的日光量。另一方面，矿物燃料的烧燃增加了大气中的二氧化碳而增强了光合作用。杀虫药和扑灭食肉动物规划 (predator-eradication program) 在消费者中改变了平衡。倾倒未处理污水 (rawsewage) 于水生生态系统增强了分解者的活动并可使生态系负荷过重。在常规的污水工厂处理污水，将流出物排放于水生生态系统，则增大了营养库 (nutrient pool)，并导致生产者的过度生长。

1.2 食物网和种群的稳定性 (Food webs and Population Stability)

谈谈食物链是轻而易举的，但在自然界，显然，事情并不是这样简单。一个食物链的每一个环节都和许多其他食物链相联结，这样形成的喂养关系的复杂组合叫作食物网，它的比较简单的举例如图1.4。

生态学中习惯的说法，认为一个食物网的稳定性与它的复杂性有关。复杂的食物网倾向于稳定，即在每一群落中个体的数目倾向于保持近似的恒定。反之，在一个很简单的食物网中，较小的扰动能够引起群落大小的较大波动，甚至可使种属趋于消灭。

例如，考虑一下简单的由两个种属组成的食物链：



如果A的群落开始衰减，则可看到被捕食者的缺少引起B的群落也减少。当B的群落减少时，由于捕食者的减少可引起A的群落突然增多。既然现在它们的食物供应较为丰富，则B的群落也将增多，或许达到增大的捕食使A的群落再度开始减少的程度。

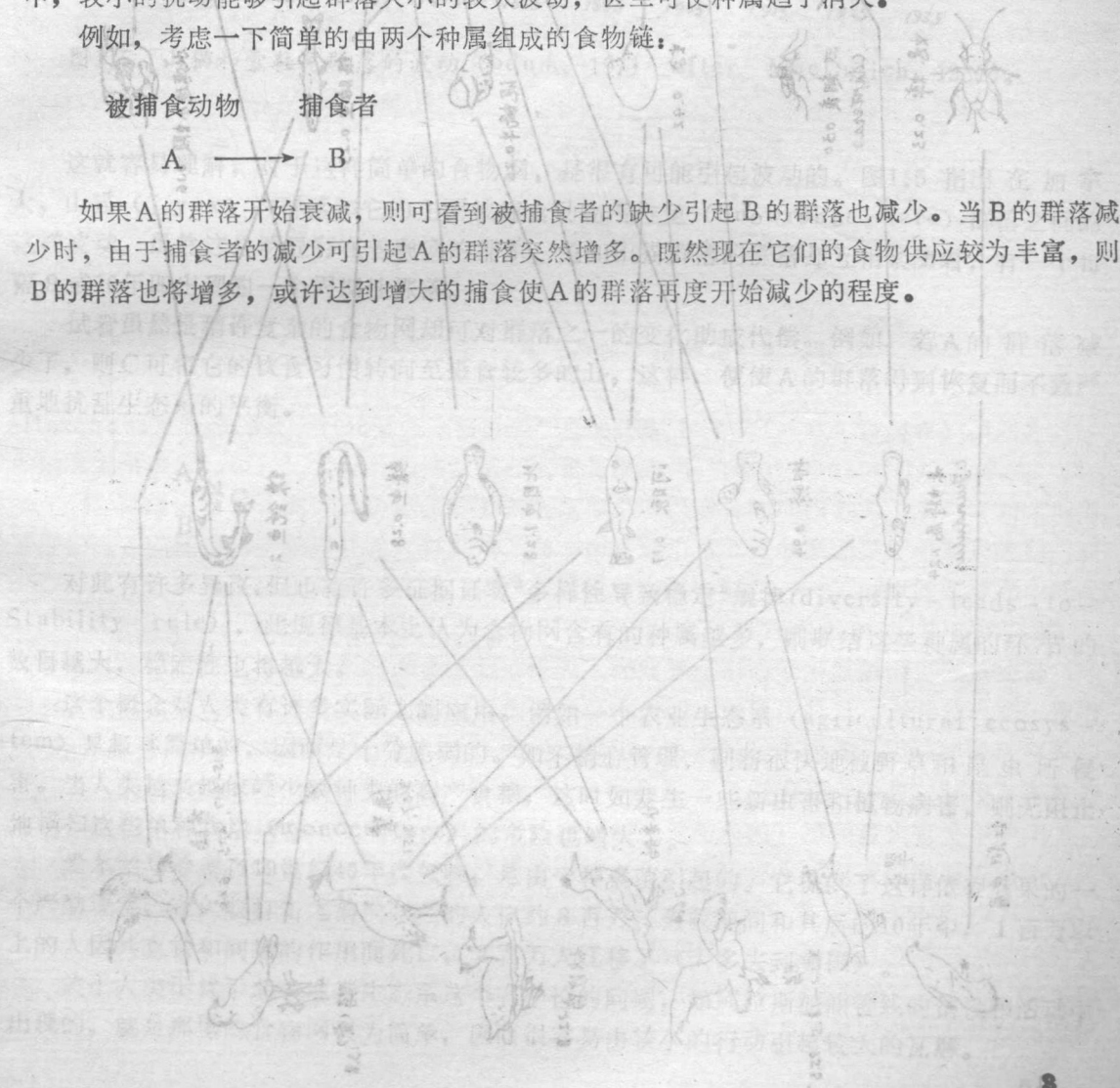
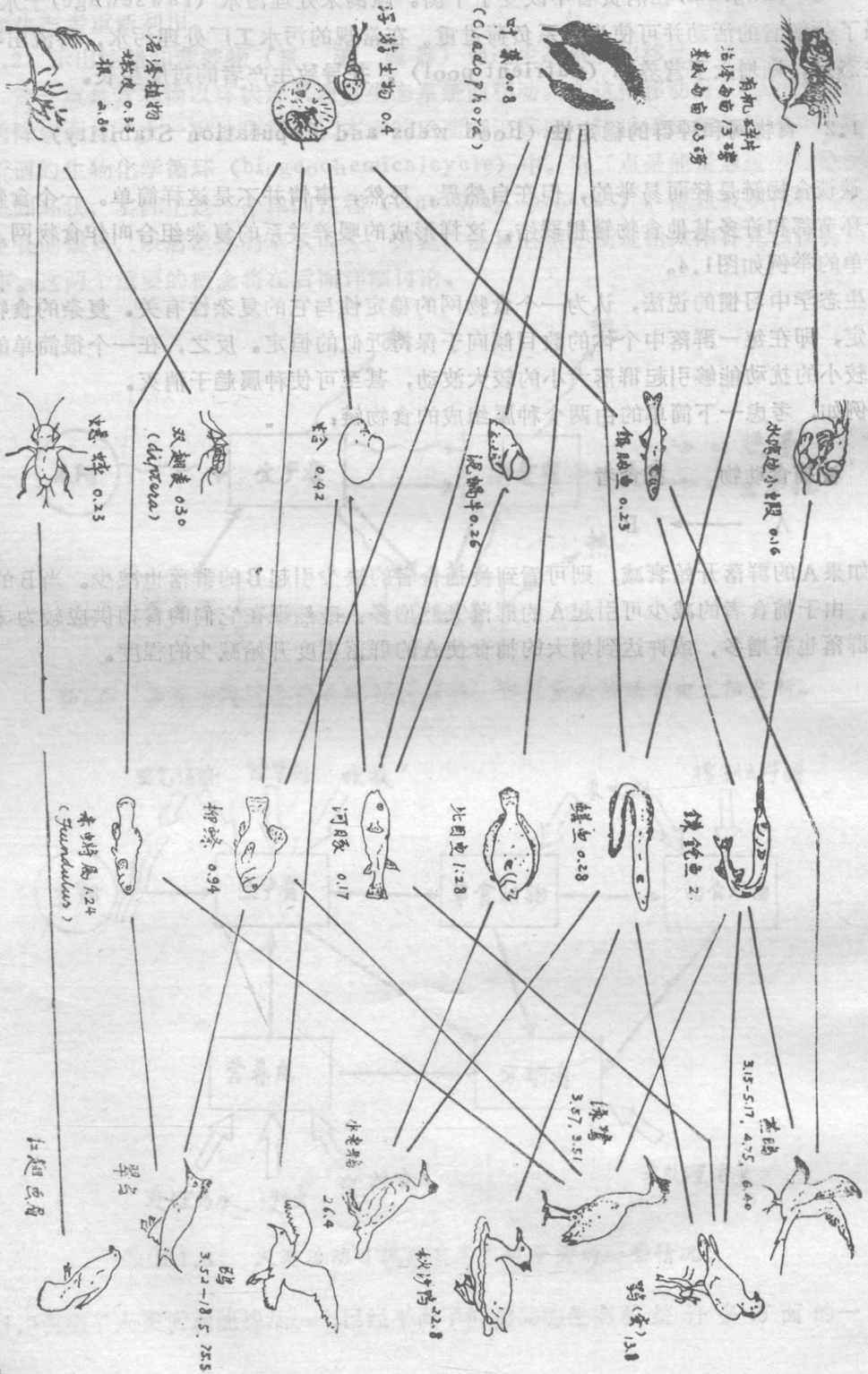


图1.4 长岛一个江口的食物网部分。

数字表示DDT的残余量ppm，摘自Woodwell G. M.、“有毒物质生态学循环”



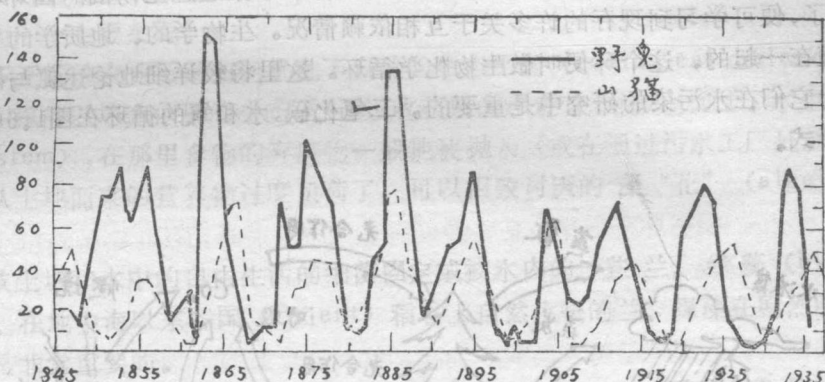


图1.5 山猫和雪鞋兔群落的波动 (odum, 1971 after MacLulich 1937)。

这就容易理解，对于这样简单的食物网，是很有可能引起波动的。图1.5 指出在加拿大，山猫（Lynx）的群落和它的主要被捕食动物雪鞋兔（Snowshoe hare）群落之间的这样波动。虽然这是明显存在着确实的捕杀，兔和山猫群落的涨落却互相紧随着，有一个每隔9或10年即出现的一个周期性涨落。

试看虽然是稍许复杂的食物网却可对群落之一的变化助成代偿。例如，若A的群落减少了，则C可将它的饮食习惯转向至摄食较多的B，这样，便使A的群落得到恢复而不致严重地扰乱生态系的平衡。

对此有许多异议，但也有许多证据证实“多样性导致稳定”规律 (diversity - leads - to - Stability rule)，此规律基本上认为食物网含有的种属越多，则联结这些种属的环节的数目越大，稳定性也将越大。

这个概念对人类有许多实际上的应用。例如一个农业生态系 (agricultural ecosystem) 是极其简单的，因而是十分脆弱的。如不精心管理，则将很快地被野草和昆虫所侵害。当人类越来越依赖少数种类的高产食粮，这时如发生一些新虫害和植物病害，则无阻止地横扫这些单种栽培 (monoculture) 的危险也增大了。

爱尔兰马铃薯在19世纪40年代欠收，是由一种真菌引起的。它提供了这样依存后果的一个残酷现实，在欠收打击之前爱尔兰的人口约8百万，欠收期间和其后的10年中，1百万以上的人因其直接和间接的作用而死亡，2百万人迁移了（大多去到美国）。

关于人类干扰了北极地带生态系这个有争论的问题，如阿拉斯加油管线的铺设和活动中出现的，就是那里的食物网极为简单，因而很容易由较小的行动引起较大的瓦解。



### 1.3 生物化学循环 (Biogeochemical cycles)

虽然每一有机体维持生命需要的化学元素表是相当长的,有五种元素即氧、碳、氢、氮和磷却占整个营养元素的97%以上。追踪这些主要的化学元素通过生物圈的园环状运动是可能的,这样做了,便可学习到现存的许多关于互相依赖情况。生物学的、地质学的和化学的体系通常是纠缠在一起的,这个环便叫做生物化学循环。这里将较详细地论述氮与磷的生物化学循环,因为它们在水污染的研究中是重要的。二氧化碳、水和氧的循环在图1.6中表示为稍微简化了的形式。

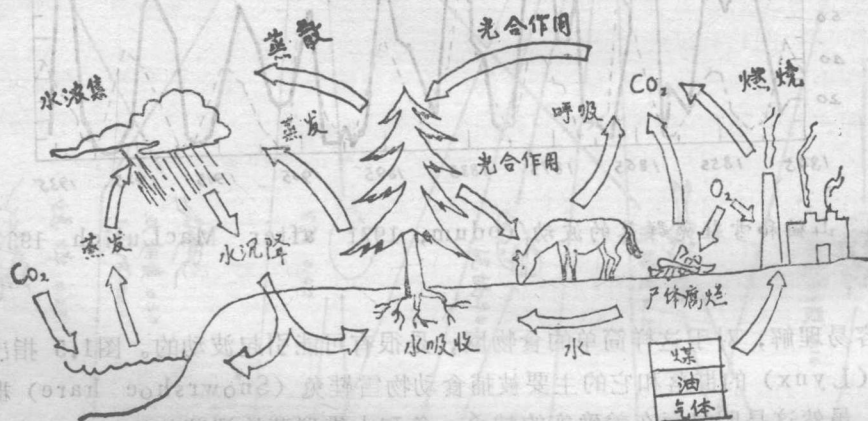


图1.6 生物圈中的水、氧、二氧化碳循环。

水循环 (Water cycle), 将在第四章进一步讨论, 包括开放水体的蒸发 (evaporation) 和蒸腾 (transpiration, 即水通过植物的蒸发), 并继之以沉降。二氧化碳和氧的移动大部分决定于植物内的光合作用和生态系全部生物的呼吸。人类开采矿物燃料进行燃烧, 给大气减少了氧而增加了二氧化碳。增加的二氧化碳大部分吸收于海洋而除去, 但它在大气中的总浓度增加了——可能有影响于世界的气候, 这将在第9章讨论。

#### 氮循环 (Nitrogen cycle)

研究氮的生物地球化学循环是有益的, 因为在这么多的环境问题中, 氮起了相当重要的作用。作为营养物, 氮是主要的, 因为它是蛋白质的重要成分, 饮食中缺乏蛋白质是人类营养不良的主要原因。我们也将讨论在人工肥料中使用氮, 看它如何助成了水的污染。此外, 当燃烧氧化时, 氮成为光化学烟雾 (photochemical smog) 中的一种主要成分。

大气中含有大量的氮 (约为空气的79%), 但这样的氮并不是植物能直接利用的那种形式。终止于植物的那部分氮脱离大气, 被寄生于豆科植物如三叶草 (Clover) 和紫花苜蓿 (alfalfa) 根部的固氮菌 (Nitrogen fixing bacteria) “固定”于植物。这些细菌固定大气氮是经过氧化它为硝酸盐 (NO<sub>3</sub>), 这样便能为植物所利用。这是一个共生 (mutualism) 的例子, 在这里细菌和植物为了共同的利益生活在一起。细菌从植物接受碳水化合物形式的能量, 植物则获得了氮的一个来源。

因为多数植物没有这样准备好的硝酸盐来源，它们必须由土壤中获得它。但是经常的农事收割能使土壤空虚，除非提供有补充硝酸盐的一些机制，这就是包括豆类植物在内的轮种的目的。固氮菌和豆类植物一起提供了一个保持土壤肥沃的天然方法而无须使用人工肥料。然而由于我们的人口不断增长，我们很不愿让土地休耕，于是代之以依靠人工肥料，这就成为水污染的一个主要来源。

看一下正常的农业活动如何扰乱了自然的生态平衡 (ecological balance)，它不仅扰乱了生长庄稼的以地为依据的生态系(通过收获期的移走营养物)也扰乱了水生生态系(aquatic ecosystem)，在那里食物的弃废物一般地被抛入(或在通过污水工厂处理之后)。水生生态系为从土地而来的营养物过度负荷了，可以招致讨厌的藻“花”(algal blooms)的盛开。

氮也被土壤和水中的自由生活的细菌固定或被水内的一些兰、绿藻(bluegreenalgae)固定。在地中海以东各国(Orient)稻谷上自然生长的兰、绿藻在剧烈收获下对维持土壤肥沃是非常重要的。

图17绘出了氮循环。在图中看到硝酸盐或氨被植物摄取并利用来合成蛋白质。由食物链的成员而来的腐烂产物和排泄物被细菌和真菌逐渐转变为氨。然后亚硝酸细菌(nitrite bacteria "Nitrotomonas")将氨转化为亚硝酸盐( $\text{NO}_2$ )，硝酸盐细菌(Nitrate

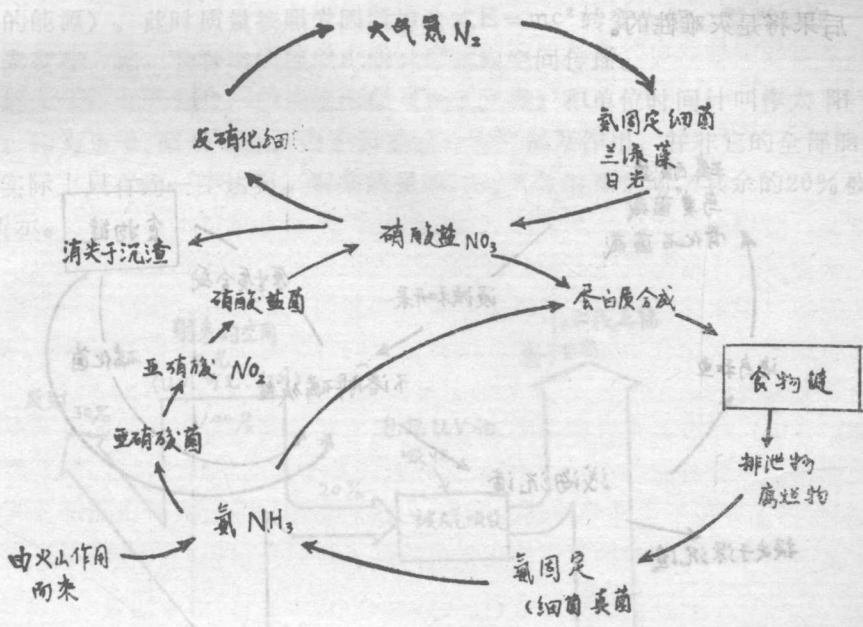


图1.7 氮循环。

bacteria, "Nitrobacter") 再将  $\text{NO}_2$  转变为硝酸盐 ( $\text{NO}_3$ )。当反硝化细菌 (denitrifying bacteria) 转化硝酸盐 ( $\text{NO}_3$ ) 为分子氮 ( $\text{N}_2$ ) 时, 氮返回大气中。图1.7末绘出者是人 为的固定大气氮, 它出现于人工肥料的制造。目前, 人工的固定氮多于自然途径固定者, 但这一新的增加对生物圈的效应 (影响) 还属未知。

磷循环 (Phosphorus Cycle)

磷是另一个对生命绝对重要的元素, 它是一切生命形式在给细胞供给能量的代谢过程中所需要的。在我们的水污染研讨中, 磷是一个很重要的营养物, 由于它被人大量应用于洗净剂 (detergent) 和人工肥料, 在水域中将招致植物的过度生长。

氮的主要贮存库是大气, 而磷的主要来源却是磷酸盐岩和鸟粪 (guano) 以及化石动物的自然磷酸盐贮存所。磷循环所特殊的是它多偏向于单向性 (unidirectional) 过程而不是循环过程。如图1.8所示, 磷经过浸蚀和开采由岩石转移于水循环和食物链, 这里它可以循环一个短时期, 但最后它终末于深海沉渣而不活动了, 直至地质活动再把它升上来。虽然有些海中的磷酸盐因海鸟的排泄物 (鸟粪) 或因人捕获的鱼而返回陆地, 但大部分损失了。人类因开采磷酸岩生产肥料和最后的被冲刷至海中, 而加速了这一损失。

由于磷是一个很重要而又不能更新的资源, 重要的是要有在储存耗竭前它能维持多久的思想。如果世界上按1970年的速度每年消耗9400万吨磷酸岩矿石, 世界储备量将维持约100年 (美国内政部, 1972)。必需认为这只是一个在可以发现较多储存下的粗略估计, 但另一方面, 我们的消耗速度正在加速而能更快地耗尽储备。如果我们终于用完了这一生命攸关的资源, 后果将是灾难性的。

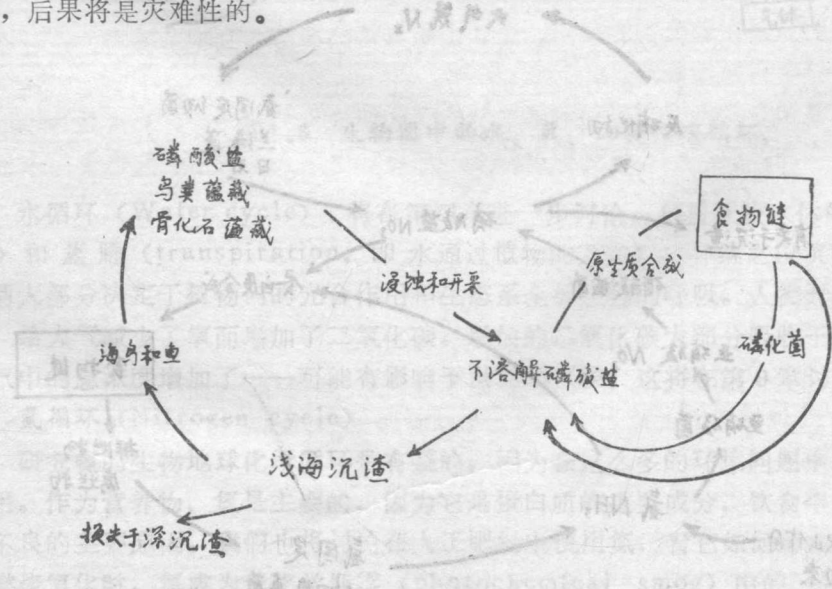


图1.8 磷循环 (注意其损失于深沉渣)。

1.4 太阳能和大气 (solar energy and theatmosphere)



对于图 1.2 应提到两个要点。第一点是现在已经谈到了的生物圈利用营养物循环的性质；第二点涉及能的单向流，这就是本章的其余部分所要讨论的。

在进行讨论能量的生物学含义前，应提到几个基本的热力学的 (thermodynamic) 概念。简单说来，能 (Energy) 就是作功 (work) 的本领，而功的定义是经过一定距离的力的运动。能可以采取多种形式，如势能，即一块岩石由地面升起所得到的能；动能，即当岩石坠落时所显示的能。能量可采取其它形式有化学的、热的、电磁波的、甚至质量 (mass) 的。热力学第一定律 (first law of thermodynamics) 是能既不能被创造，也不能消灭；因之，在任何过程中，理论上总是能够描绘出一张能量平衡图以说明进入这系统的全部能量。这正是在下几节我们追踪能量流 (flow of energy) 通过生态系时将要说明的。热力学第二定律 (the second law of thermodynamics) 虽然有许多不同的描述，但主要的是没有一个过程是 100% 有效的，因而必须供给比有效的功需要的能还要多的能于任一系统中。例如，当供应马达以一定量的电能，它常释出较小量的机械能。其差即作为热由线圈或轴承等处损失了。最后的一个有实用价值之点是测量能量有许多单位体制，但这里我们将使用卡 (calorie, cal)，它的定义是使 1 克的水由 14.5℃ 升高到 15.5℃ 所需要的能量。

谈过了这些引言，让我们在讨论太阳能的同时，开始考虑通过生物界的能量流。太阳供给能量主要为地球上一切形式的生命所利用〔例外的只是几种“化(学)能合成细菌”(Chemosynthetic bacteria)，它们由无机物的氧化得到能量〕。太阳能来源于其热核反应过程(氢弹的能源)，此时质量按照爱因斯坦公式  $E=mc^2$  转变为能。氢弹是在一系列形成氦的反应中聚变在一起，它释出的能以电磁波形式向空间传播。

达到地球外层大气的太阳能量，以单位面积(垂直光线)和单位时间计叫作太阳通量(solar flux)，约为 2 卡/厘米<sup>2</sup>/分。由于和地球的大气相互作用，并非它的全部能量都达到地球表面，实际上只有约一半达到。射来能量的 30% 又反射至空间，其余的 20% 被大气吸收，如图 1.9 所示。

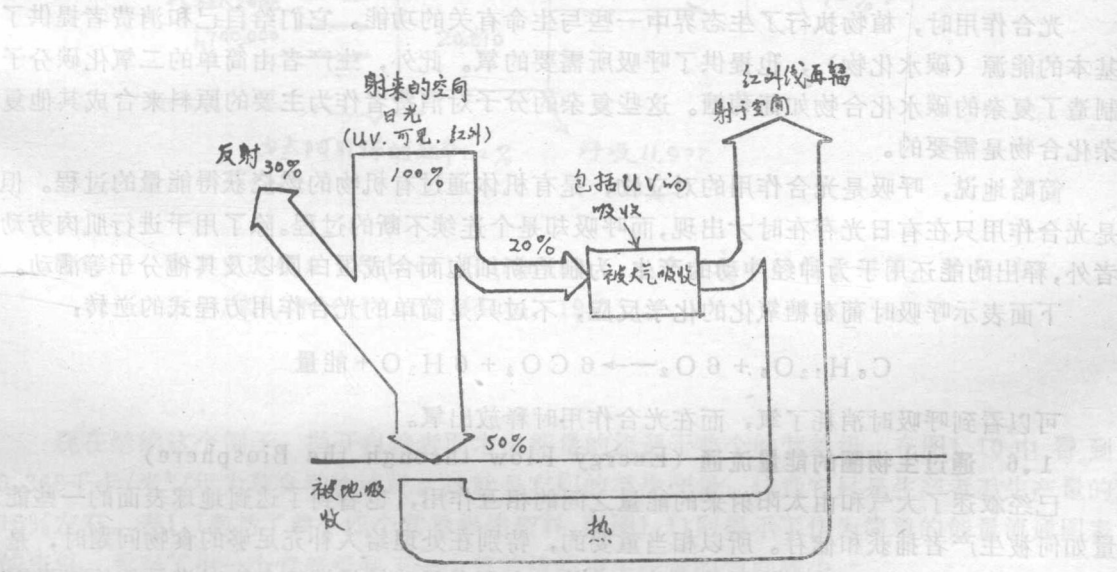


图 1.9 约一半的太阳能到达地球表面，转变为热，再辐射回到空间。

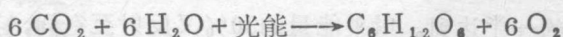
对于图1.9需要作几个重要说明。首先涉及射来的太阳辐射的波长与再辐射回空间的能的波长之间的光谱变化 (spectrum shift)。射来的太阳能约99%是包含在由0.2 扩延到4.0微米的光谱部分(由紫外线经可见光线至红外线)。被地球和大气吸收的能转变为热(红外线)而以较大的波长再辐射于空间。如果地球的平均温度保持恒定,则达到地球的能必须与再辐射回空间的能相等。后面当讨论到温室效应 (greenhouse effect) 时,将看到在大气增多的二氧化碳浓度为何因吸收了这种再辐射的红外线而扰乱了这个平衡,这就可以引起地球温度的全面增高。

第二个重要之处是关于辐射来的紫外线(UV)。这是一个很重要的事实,即大多数的紫外线能并不到达地球表面。光谱的紫外线部分有足够的能来折断化学键,这样有生命的体系必须保护自己以免过度的辐射。上层大气的氧分子( $O_2$ )被紫外线分解为原子氧(O),然后它再与分子氧结合形成臭氧( $O_3$ )。臭氧强烈地吸收紫外线辐射,这样它便形成了一个保护过滤器。对于超声波运输 (Supersonic transport, "SST") 的争论之一是认为大队的SST飞行能减弱同温层臭氧这一保护层,因而便可导致地球上皮肤癌的大大增加(见9.8节)。

通过大气的能量所引起的效应在本书的各处都将讨论到。这个能量最重要的目的地之一是它利用称为光合作用的过程进入绿色植物的化合键。

### 1.5 光合作用和呼吸 (Photosynthesis and Respiration)

光合作用时,绿色植物含叶绿素的细胞利用由太阳来的能,转变二氧化碳和水为有机物。在这过程中释放出分子氧至大气中。产生的有机物是一种碳水化合物如葡萄糖( $C_6H_{12}O_6$ ),以后还可再转变为其它有机分子如蛋白质和纤维素。下面的方程式综括了实际进行的一系列复杂的反应:

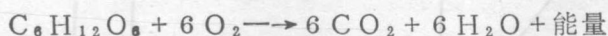


附带说明,应指出释放出的氧并不来自二氧化碳,而是来自水。

光合作用时,植物执行了生态界中一些与生命有关的功能。它们给自己和消费者提供了基本的能源(碳水化合物),也提供了呼吸所需要的氧。此外,生产者由简单的二氧化碳分子制造了复杂的碳水化合物如葡萄糖。这些复杂的分子对消费者作为主要的原料来合成其他复杂化合物是需要的。

简略地说,呼吸是光合作用的对立物,是有机体通过有机物的燃烧获得能量的过程。但是光合作用只在有日光存在时才出现,而呼吸却是个连续不断的过程。除了用于进行肌肉劳动者外,释出的能还用于为神经冲动的产生,为制造新细胞而合成蛋白质以及其他分子等活动。

下面表示呼吸时葡萄糖氧化的化学反应,不过只是简单的光合作用方程式的逆转:



可以看到呼吸时消耗了氧,而在光合作用时释放出氧。

### 1.6 通过生物圈的能量流通 (Energy Flow through the Biosphere)

已经叙述了大气和由太阳射来的能量之间的相互作用,也看到了达到地球表面的一些能量如何被生产者捕获和储存。所以相当重要的,特别在处理给人补充足够的食物问题时,是了解这个储备的能量通过生物界的运动。当然,人类必需消耗足够的食物以满足他的能量需要,同时我们将看到,可以利用的能的数量直接依赖于他所获得的食物营养级。