

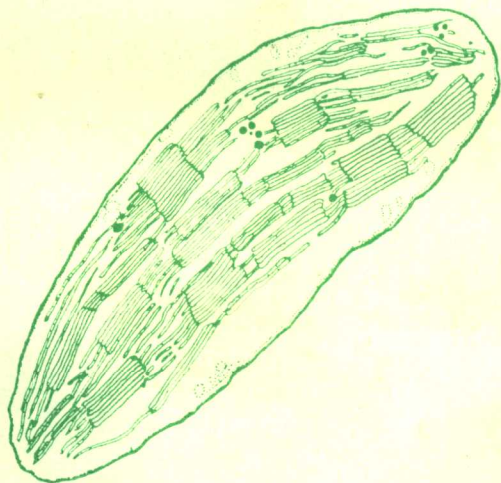
中学生课外读物

现代科学技术丛书



光合作用

张其德 赵福洪 许春辉 编著



人民教育出版社

中学生课外读物

现代科学技术丛书

光 合 作 用

张其德 赵福洪 许春辉 编著

人 民 教 育 出 版 社

中学生课外读物
现代科学技术丛书

光 合 作 用

张其德 赵福洪 许春辉 编著

*

人民教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京市房山区印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 6.5 字数 135,000

1986年9月第1版 1987年7月第1次印刷

印数 1—3,000

书号 7012·01114 定价 0.84 元

内 容 简 介

植物的光合作用与人类生活和农业生产具有非常密切的关系。因此,需要更多的人来关心和了解光合作用,这就是我们编着这本书的目的。本书的内容可分为三部分(共九章):第一部分包括光合作用的重要性,光合作用的发现及其研究概况;第二部分叙述光合作用器官的结构,以及光合作用的一些基本过程,其中包括光能的吸收、传递和转化,光合电子传递与光合磷酸化,二氧化碳的固定和有机物质的形成,光呼吸作用等;第三部分介绍影响光合作用的内外因素和与光合作用有关的一些农业问题。

本书可供中学生、大专院校学生、中学生物教师、农业科技人员和知识青年参考。

目 录

一 光合作用的重要性	I
(一) 什么是光合作用	1
(二) 光合作用与人类生活	1
(三) 光合作用与碳素和气体循环	3
(四) 光合作用与氮、硫、磷的循环	5
(五) 光合作用与生命起源和生物演化	10
二 光合作用的发现及其研究概况	13
(一) 早期的发现	13
(二) 植物对空气的净化和光的作用	15
(三) 二氧化碳和水是光合作用的原料	17
(四) 光合作用的反应式和能量储存	18
(五) 氧气的来源	21
(六) 光合作用研究中的一些重大发现	23
三 “绿色工厂”——光合作用器官的结构	29
(一) 叶子的巧妙结构	30
(二) 具有光合功能的特殊细胞器——叶绿体	38
(三) 转换光能的生物膜——光合膜的结构	46
四 光能的吸收、传递和转化	57
(一) 光的特性	57
(二) 光合色素	59
1 叶绿素类	59
2 类胡萝卜素类	62

3 藻胆素类	63
(三) 光能的吸收、传递和转化的机理	65
1 光能的吸收、传递和捕光叶绿素蛋白复合物	65
2 反应中心和两个光系统	68
五 光合电子传递与光合磷酸化	71
(一) 电子传递链及其组分	71
1 Z链	71
2 光系统 II	72
3 氧气的释放	73
4 光系统 II 与光系统 I 之间的电子传递	74
5 光系统 I	75
6 环式电子传递	76
7 电子传递体在类囊体膜上的分布	76
(二) 光合磷酸化	78
1 两种光合磷酸化	78
2 ATP 形成的各种学说	79
六 二氧化碳的固定和有机物质的形成	82
(一) 卡尔文—本森循环	85
1 羧化阶段	87
2 还原阶段	90
3 再生阶段	91
4 产物合成阶段	92
(二) 二氧化碳固定的四碳(C ₄)循环途径	94
(三) 景天酸代谢途径(CAM 途径)	100
(四) 光合细菌的二氧化碳同化	102
七 光呼吸	107
(一) 什么是光呼吸	108
(二) 光呼吸的底物	109

(三) 乙醇酸的生物合成·····	111
(四) 光呼吸的二氧化碳释放——乙醇酸的代谢过程·····	113
(五) 光呼吸与光合碳同化的关系·····	114
(六) 光呼吸的生理功能·····	118
(七) 光呼吸的调节和控制·····	122
八 影响光合作用的因素·····	128
(一) 外界环境因素对光合作用的影响·····	129
1 光的影响·····	129
(1) 光强度·····	130
(2) 光质·····	135
2 温度对光合作用的影响·····	137
3 空气中的一些气体成分对光合作用的影响·····	144
(1) 二氧化碳·····	144
(2) 氧气·····	149
4 水分对光合作用的影响·····	152
5 营养元素对光合作用的影响·····	157
(1) 大量元素·····	158
(2) 微量元素·····	160
6 大气污染物对光合作用的影响·····	163
(二) 内部因素对光合作用的影响·····	168
1 叶子的生理状态和结构对光合作用的影响·····	168
2 叶子内光合产物的累积对光合作用的影响·····	170
3 色素含量对光合作用的影响·····	171
4 蛋白质含量对光合作用的影响·····	173
九 光合作用与农业·····	174
(一) 决定作物产量的因素·····	174
(二) 大田光能利用效率·····	175

(三) 提高光能利用效率的途径.....	178
1 合理控制叶面积系数.....	178
2 充分利用上下两茬作物之间的空闲地	181
3 间种套作.....	181
4 充分利用现有水面和荒地	183
5 育种和杂种优势的利用.....	184
6 农产品的综合利用.....	190

一 光合作用的重要性

(一) 什么是光合作用 光合作用是绿色植物(包括光合细菌)所特有的生命现象。绿色植物在光合作用过程中,以太阳的光能为动力,把二氧化碳(CO_2)和水(H_2O)等无机物合成为有机物(碳水化合物),并释放出氧气。因此,光合作用是一个把太阳的光能转化为生物化学能的过程。由于它的存在,才使整个自然界生意盎然,才使人类生活所需要的物质和能量有可靠的来源。

光合作用是一个极其复杂的过程,人们通常用如下的反应式来概括它:



反应式中的 (CH_2O) 代表碳水化合物。在这个反应式中, CO_2 是碳的最氧化的状态,而 (CH_2O) 则是碳的较还原的状态。可见,通过光合作用之后,二氧化碳被还原了。氧在水中是一种还原状态,氧气则是一种氧化状态,因此,通过光合作用之后,水被光氧化。所以说,整个光合作用过程实际上是一系列的氧化还原过程,在这个过程中还伴随着一系列的电子传递。

(二) 光合作用与人类生活 人类的生存离不开衣、食、住、行,而衣、食、住、行所需要的物质,绝大部分来自植物的光合产物。我们每天都要吃粮食、蔬菜、植物油、水果和动物蛋

白质,如鱼、肉和蛋品等等。粮食、蔬菜、植物油和水果等是植物在光合作用过程中形成的碳水化合物,或由碳水化合物经过植物本身加工转化而成的,它们都是植物光合作用的直接产物或间接产物。动物和一切异养生物,它们不能直接把太阳光能作为能源加以利用,它们要生存,就必须以植物为饲料。例如,江河和海洋中的鱼、虾等水生动物无一例外地要靠吃水生的植物和浮游生物才能生存。即便是肉食动物,如虎、狮和豹等,它们也得靠吃以植物为生的其他动物才能生存。可见,动物蛋白质和脂肪等,实际上都是光合作用的间接产品,是通过动物把光合产物转化而成的,然后再为人类所利用。这说明,人类的食物来源都是植物光合作用的直接或间接的产物。

熟食和肉食对于当今的人类能够具有如此高度发达的大脑起着十分重要的作用。正如恩格斯在《劳动在从猿到人转变过程中的作用》一文中所指出的那样,“从只吃植物转变到同时也吃肉,而这又是转变到人的重要的一步”;“肉类食物引起了两种新的有决定意义的进步,即火的使用和动物的驯养”。火的使用自然离不开燃料。随着工农业生产的发展和人民生活的日益改善,城市和农村对燃料的需求量都与日俱增。燃料除了来自光合作用的直接产物(如人们通常使用的柴草)以外,还有煤、天然气和石油等,而这几种矿物燃料都是几百万年前陆生和海生动植物遗体的分解产物,它们当然是古代植物光合作用的直接或间接产物。据估计,目前全世界每年所消耗的燃料(煤、天然气和石油)大约相当于 3×10^{12} 公斤碳,相当于全世界光合作用每年固定的碳的 2%。动物的驯养,

离不开饲料,而饲料归根结底又都是植物光合作用的产物。

衣服和各种纺织品不仅是人们保暖所必需的,也是美化生活所不可缺少的。这些纺织品的原料来源于植物纤维(如棉花、苘麻等纤维作物)、动物性纤维(如羊毛)和人造纤维。前者是植物光合作用的直接产物,后两者虽然来自动物或者是以石油、煤等原料合成的,但寻根究底它们最终仍然是来自光合作用。我们的住房、家具、车辆、枕木、厂房以及工业上的许多原料都离不开植物光合作用的产物。

上面列举的事实足以说明,如果没有植物的光合作用,人类就无法生存,当然更谈不上人类的发展和社会的进步了。

(三) 光合作用与碳素和气体循环 众所周知,任何生物(包括植物和动物)都有呼吸作用(有氧呼吸),这一代谢过程是在称为线粒体的细胞器中进行的。呼吸作用是利用大气中的氧气,氧化体内的碳水化合物和其他有机物质,并释放出维持生物有机体正常生命活动所需要的能量的过程。这种能量,通常是以高能磷酸盐(如三磷酸腺苷,可用 ATP 表示)的形式出现的,然后用于各种耗能的生物学过程,如肌肉收缩、运动、体内新的物质的合成、渗透作用以及电信号的传递等。因此,光合作用与呼吸作用之间实际上存在着一个能量转化过程,这可以用图1-1来表示。呼吸过程除了释放能量以外,还不断地向大气排出二氧化碳。厌氧生物虽然不需要氧气,但是,它们在从无氧呼吸获得能量的过程中,同样也不断地向大气排出二氧化碳。有机物质在分解和腐烂过程中也不断地排出二氧化碳。人类在生产活动和生活过程中,不停地消耗各种各样的燃料,以便取得所需要的能量,而燃料在燃烧过程中,一

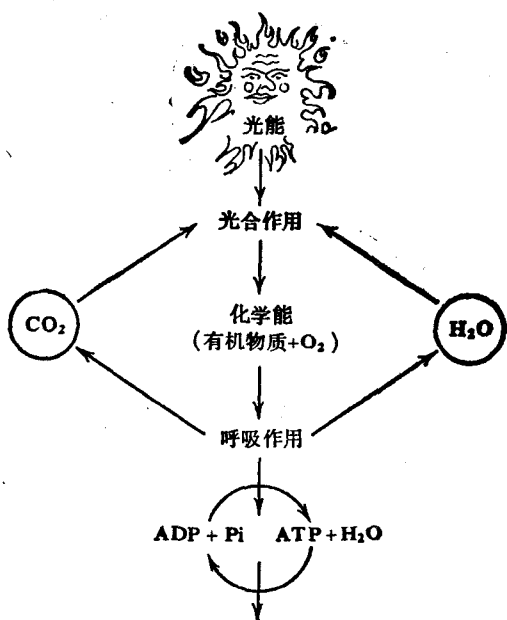


图 1-1 光合作用与呼吸作用之间能量转化的示意图

方面消耗大量的氧气，另一方面放出大量的二氧化碳。据估计，在地球表面上，平均每秒钟用于生物呼吸和燃料燃烧所消耗的氧气大约达 10,000,000 公斤。按此速度进行下去，地球大气层中的氧气大约只能供使用 3,000 年。

伴随氧气和有机物质不断消耗而来的是大气中二氧化碳的不断增加。然而，实际上大气中氧气和二氧化碳的含量却大体保持稳定，从而适合于人类生活和其他生物的生存，而且地球上的有机物质也不会因为每时每刻被大量消耗而绝灭，这完全应该归功于绿色植物光合作用所做出的无与伦比的巨大

贡献。因为光合作用的过程恰恰与上述的生物呼吸作用和有机物质的燃烧过程相反,它是以太阳光能为动力,不断地把空气中的二氧化碳还原成碳水化合物等有机物质,并且释放出氧气。这样既减少了大气中二氧化碳的含量,又不断地以新形成的有机物质和氧气来补充被生物生存过程和燃料燃烧过程所消耗掉的有机物质和氧气,从而使自然界维持着碳素循环(图1-2)和大气中二氧化碳与氧气之间的循环(图1-3),使地球大气的环境不致遭受破坏。据估计,大气中的全部二氧化碳和氧气分别为每300年和2,000年通过植物光合作用更新一次。

地球上的绿色植物到底每年同化多少碳,也就是说,每年有多少二氧化碳通过光合作用转化成有机物质?据估计,绿色植物每年大约同化 1.55×10^{14} 公斤碳,其中陆生植物同化 9.5×10^{13} 公斤,水生植物约同化 6×10^{13} 公斤(包括海洋植物所同化的 5.5×10^{13} 公斤)。如果按能量来计算的话,目前地球表面的生物量(其中90%是树木)所含的能量相当于现在已经查明的矿物燃料(煤、石油和天然气)的全部储量中的能量。储存在地下的全部矿物燃料中的能量,大约相当于地球表面所有植物在100年中所累积的光合作用产物所含的能量。

(四) 光合作用与氮、硫、磷的循环 正如大家所知道的那样,一些对生命活动很重要的有机物质,如蛋白质、酶、脂蛋白、磷酸酯和叶绿素等,它们的分子中除了含有碳,氢和氧以外,还含有氮、硫和磷,有的还含有镁、铁、铜和钴等元素。

植物吸收以离子形式存在于土壤或水中的氮、硫和磷等元素,而其离子形式主要是氧化状态的。例如,氮以硝酸根离

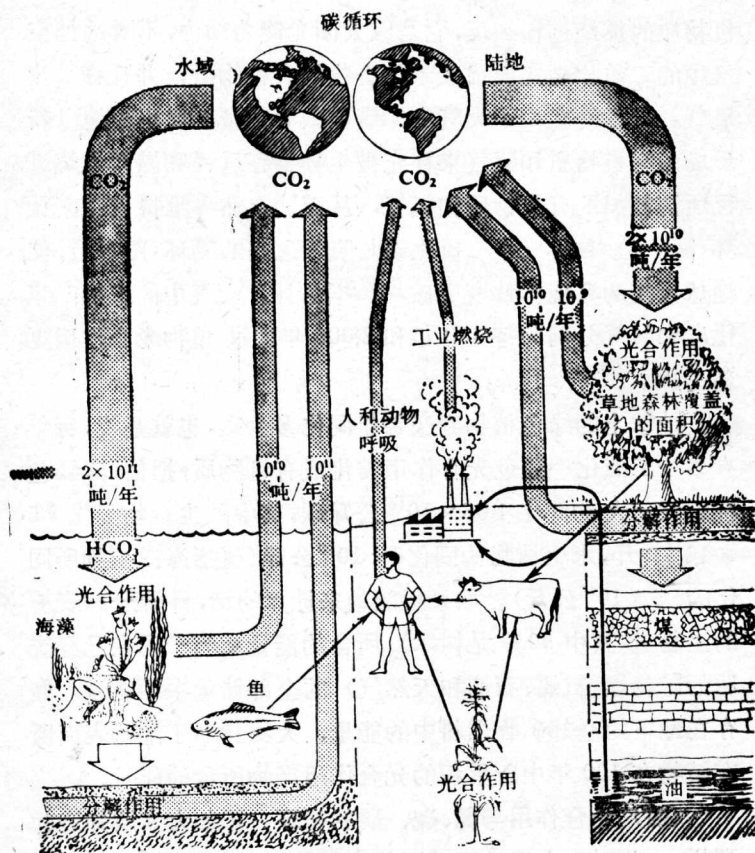


图 1-2 自然界中的碳循环示意图

(在海藻与鱼之间没有绘出浮游动物, 它们在海洋生物中比浮游植物占更大的比例, 也占海洋中总呼吸量的大部分。此外, 作物在呼吸作用中所释放的二氧化碳也未绘出)

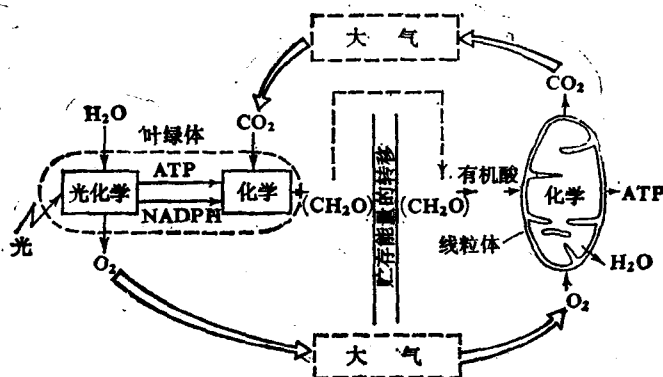


图 1-3 大气和细胞中的二氧化碳与氧气的循环

子 NO₃⁻ (有时它也以还原状态的铵离子 NH₄⁺) 的形式存在; 硫以硫酸根离子 SO₄²⁻ 的形式存在; 磷以磷酸根离子 H₂PO₄⁻、HPO₄²⁻ 和 PO₄³⁻ 的形式存在。当它们被绿色植物吸收以后, 就被同化而发生还原作用, 与此同时还直接或间接地消耗了太阳的辐射能。氮和硫则分别被还原成为 NH₃ 与 NH₂ 和 S—S 与 SH 基, 然后参与氨基酸和蛋白质的生物合成。这便为许多其他生物, 尤其是为动物提供能量和物质奠定了基础, 因为动物只能吸收和利用有机物质中的还原态的氮和硫, 而不能直

接利用处于氧化态的氮和硫。

一些异养的、不能进行光合作用的微生物，如细菌和真菌，它们虽然可以吸收无机状态的氮和硫，并利用它们本身存在的有机物质中的能量把氮和硫还原，但是，它们所具备的能量同样最终是来自光合作用的。由此可见，绿色植物的光合作用仍然是上述微生物利用无机态氮和硫作为养料的能量源泉。豆科植物的根瘤菌和土壤中的固氮杆菌，它们都具有直接从空气中固氮的能力。然而，它们在固氮时所需要的能量同样是来自绿色植物光合作用的产物。如果把根瘤菌的寄主植物放在黑暗中，根瘤菌的固氮作用便降低甚至完全停止。这一事实充分说明根瘤菌的固氮能力是紧密依赖其寄主的光合作用的。即便是同时具有固氮作用和光合作用的蓝绿藻共生体——绿萍(属于蕨类植物)，它的固氮作用和光合作用这两个过程也是无法分开的，它们是同时进行的。这是因为在绿萍体内，固氮作用的能量主要是来自光反应的产物。

磷元素在生物的生命活动中具有非常重要的作用，尤其是在能量转化上更有它独特的作用。当它被植物吸收以后，与有机物质形成具有高能磷酸键的各种磷酸酯化合物，如ATP等，这种生物能量的“流通货币”既可以直接为植物的进一步物质代谢和生命活动提供能量，又可以被储存于有机物质中。动植物在呼吸过程中又把有机物质氧化并释放出可供它们利用的高能化合物ATP(图1-1)，这样不仅使生物体内的各种反应能够得以进行，而且通过能量转化把这些反应连接成一个统一体。

植物不断地从自然界中吸收氮、硫和磷，并通过光合作用

把它们转化成有机物质的组成成分，而人和动植物在生命活动的过程中不断地向外界排放这些元素，此外，人和生物的尸体，经微生物的作用而分解和腐烂，使有机物质不断地矿质化，从而把这些元素释放出来，变成能够再次参与植物营养循环的状态，这便形成了一个无限的反复循环(图 1-4)，从而使自然界的物质和生态保持平衡。

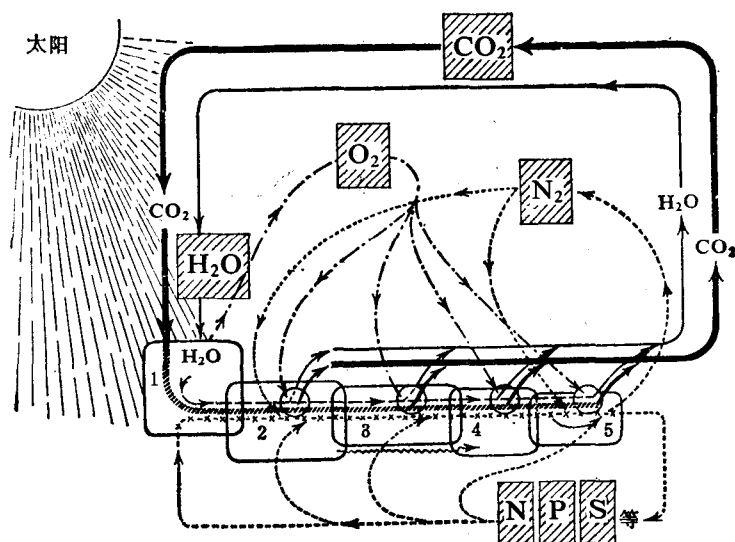


图 1-4 植物光合作用与碳、氧、氮、水、矿物元素的循环和转变途径

1. 光合作用 2. 绿色植物的生命活动 3. 动物和人的生命活动
4. 植物和动物死后的尸体 5. 细菌和真菌的生命活动(图中各种

符号分别表示: $\longrightarrow$ CO_2 $\cdots\cdots\cdots$ 气态氧(O_2) $\cdots\cdots\cdots$ 有机碳 $\longrightarrow$ 水(H_2O)
 $\cdots\cdots\cdots$ 有机态氢 $\cdots\cdots\cdots$ 有机氮、磷、硫等 $\longrightarrow$ 无机态氮(N和 N_2),
磷(P), 硫(S)及其他元素)