



现代自然科学普及丛书

光合作用

—从机理到农业—

上海科学技术出版社

· 现代自然科学普及丛书 ·

光 合 作 用

——从机理到农业——

沈允钢 王天铎

上海科学技术出版社

现代自然科学普及丛书
光合作用——从机理到农业

沈允钢 王天铎

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 浙江嘉兴印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 5.625 字数 121,000

1978年8月第1版 1978年8月第1次印刷

书号: 13119·725 定价: 0.41元

出版说明

本丛书是一套中级科普读物。为了发展我国的科学技术，赶超世界先进水平，有必要以辩证唯物的观点为指导，及时介绍当代一些基本理论问题、基础学科、发展较快的新兴学科、边缘学科，包括其基本内容、发展历史、目前进展概况和今后动向，供有关的干部、青年和科技人员参阅。

这套读物有数、理、化、生、天、地(包括气象、海洋)，以及有关现代农业、现代医学基础理论的选题多种，力求有中等文化水平的读者即能读懂。本丛书将陆续出版，欢迎同志们提出宝贵意见。

目 录

第一章 光合作用与我们的生活	1
一、光合作用与农业及能源问题	1
二、光合作用与生命起源、生物进化及环境保护	3
三、光合作用的研究和应用	5
第二章 植物是怎样长大起来的?	6
一、植物生长的物质基础和能量来源	6
二、光合作用的轮廓	9

光合作用的机构和功能

第三章 叶——进行光合作用的重要器官	12
一、叶片的构造	12
二、用叶片的干重变化测量光合作用	14
第四章 叶绿体和光合膜	18
一、叶绿体是进行光合作用的重要场所	18
二、叶绿体内部结构和光合膜	20
第五章 色素和光合单位	23
一、色素与光能的吸收和传递	23
二、作用中心和光合单位	27
第六章 能量转换和质子泵	29
一、光合作用的主要步骤	29

二、氧化还原与电子传递·····	33
三、光合磷酸化和质子泵·····	34
第七章 二氧化碳的同化·····	37
一、光合碳循环·····	37
二、二氧化碳同化的调节控制·····	42
第八章 光呼吸和二氧化碳泵·····	44
一、四碳植物与二氧化碳泵·····	44
二、光呼吸问题·····	48
第九章 光合作用的演化·····	50
一、各种植物光合功能的异同·····	50
二、生命起源、生物进化和光合作用的演变·····	51
第十章 光合作用的效率·····	54
一、光能利用率和量子需要量·····	54
二、光合作用的效率·····	55
三、植物光能利用的特点·····	57
四、光合作用的改善和模拟·····	58

作物的光合作用问题

第十一章 光·····	61
一、太阳光的特性·····	61
二、光强与光合作用的关系·····	65
三、光质与光合作用的关系·····	67
第十二章 温·····	70
一、光合作用的热限、冷限和最适温度·····	70
二、覆盖保温时的光合作用问题·····	75
第十三章 气·····	79

一、二氧化碳浓度与光合作用的关系·····	80
二、二氧化碳的通路·····	81
三、二氧化碳施肥·····	84
四、大气污染对光合功能的影响·····	88
第十四章 无机营养·····	91
一、营养元素参与光合作用的部位·····	91
二、参加叶绿体基础物质的几种元素——氮、硫、磷·····	94
三、营养元素对光合作用的多重影响·····	95
第十五章 水·····	97
一、进行光合作用的耗水量·····	97
二、光合作用为什么要耗费那么多的水分?·····	98
三、植物对蒸腾的调节·····	100
四、提高用水效率的途径·····	102
第十六章 生理状态·····	106
一、作物光合机构与功能的生理变化·····	106
二、光合作用与其他生理过程的联系·····	110
第十七章 遗传育种·····	113
一、光合作用与遗传性·····	114
二、选育低光呼吸及四碳类型品种·····	115
三、优良光合功能的其他指标·····	116

光合作用与农业生产

第十八章 农产品综合利用与提高作物光能利用率·····	122
一、光合产物的可变性及农产品的综合利用·····	123
二、扩大提高光能利用率的途径·····	125
第十九章 作物群体结构与光能利用·····	130

一、为什么作物群体需要许多层叶子?.....	130
二、有效叶面积最大可以达到多少?.....	132
三、多层叶群体的优越性	133
四、作物群体叶面积发展的合理轨道	136
五、平伸叶和直立叶的优劣	138
六、均匀度的影响	140
七、东西行与南北行的得失	142
第二十章 光合产物的分配与作物产量	146
一、植物体内的物质分配问题	146
二、经济系数	147
三、籽粒中干物质的累积过程	148
四、开花受粉过程对不利环境的敏感性	149
五、大植株、小植株,哪个经济系数高?.....	151
六、不同类型作物经济系数的比较	154
第二十一章 合理密植	156
一、产量不与密度成正比	156
二、密度是怎样影响产量的?.....	157
三、确定最适密度的基本原则	160
四、空秕率和蕾铃脱落问题	162
第二十二章 间作套种与移栽	164
一、间作套种与充分利用光能	164
二、育苗移栽	167
结束语	169

第一章 光合作用与我们的生活

太阳给我们带来了光明与温暖，这是大家很容易感受到的。其实，太阳和我们的关系远远比这还要深厚得多，其中一个非常重要的环节就是通过植物的光合作用联系起来的。

一、光合作用与农业及能源问题

农业是发展国民经济的基础，它为人们提供着食物、工业原料和日常用品；范围之广，种类之多，无法一一列举。但它们有一个共同的特点——都是和植物光合作用形成的有机物质联系着的。

植物的根、茎、叶、花、果实的干重中百分之九十以上都是由光合作用产生的有机物质组成的。它们有的直接供人们食用和用，如粮食、蔬菜、水果、木材、棉花等；有的则转化为动物的身体后才被人们食用，如畜产品、禽蛋、鱼虾等。因此，要农业提供更多的产品显然首先就得使植物充分利用日光能来产生更多的有机物质。农业上有许多措施都是通过调节作物的光能利用、光合作用进程及光合作用产物的分配而获得增产效果的。随着水肥土壤等条件的改善和农业生产水平的提高，在农业增产中直接影响光合功能的重要性越来越显著。培育高光合效能的作物、筛选低光呼吸的品种、二氧化碳施肥及探讨其他提高作物光合作用的途径已成为近年来大家经常谈论的问题。

大寨贫下中农在战天斗地、改造自然的过程中创造了很

多使作物增产的条件，积累了许多科学种田的好经验。在这些宝贵经验中，如合理密植、“四不专种”、“四不空”、大面积小米移苗及小麦、玉米套种等都是与作物充分利用光能密切有关的。

近几年来，资本主义国家喧闹着能源危机。在一系列寻求新能源的企图中，有些项目就是研究利用植物的光合功能产生燃料和模拟光合功能试制太阳电池。

植物的光合作用与人们使用的能源是紧密关联着的。人类目前使用的能源主要是煤炭、石油和天然气，它们直接或间接都是远古时代的动植物变成的，也就是说，人们今天使用的能源主要是亿万年前通过光合作用蓄积起来的太阳能。太阳是非常巨大的初级能源，照到地球上的光能还不到它发射总量的二十亿分之一，但是，这已超过目前人类所使用的总能量的几千倍。在我国，大部分地区一年中每平方米土地面积所接受到的太阳能相当于三、五百斤标准煤的燃烧热，可惜其中绝大部分都转变成热能而散失掉了！只有植物的光合作用在大规模地把它转换成化学能，蓄积在合成的有机物质中。所以，在考虑太阳能利用的时候，人们自然会想到如何更好地利用和模拟至今为我们提供着这么多燃料的光合功能。

植物的光合作用不但在漫长的地质年代中蓄积了大量的太阳能，就是在现在，地球上每年通过光合作用所固定的太阳能也比人类生产和生活所消耗的总能量多好多倍，可是很大一部分的能量都在有机物质被微生物自然发酵腐烂的过程中丢失掉了。我国四川等许多省市的农村在大力推广利用人畜粪便、藁秆杂草等密闭沤制肥料时发酵产生的沼气作为生活燃料及部分农业能源。这是将农业中已成为生物“垃圾”的有机物质中固定着的太阳能充分利用起来的好办法。

二、光合作用与生命起源、生物进化及环境保护

植物的光合作用利用太阳能为人们提供着各种农产品和广大能源,并且还对生命起源、生物演化和目前整个地球环境的形成和保护有重大作用。

在地球几十亿年的演变过程中,有生命的物质的出现是一个巨大的转折。生物的重要特征之一就是会进行新陈代谢,这就要消耗能量。它们开始可以消耗当时存在的一些非生物形成的有机物质来获得能量,但这是很快就会用完的,因此在有些原始生物中发展出能够直接利用太阳能形成有机物质的光合功能,对生物的生存和发展具有决定性的意义。最初产生的具有原始光合功能的生物,在同化二氧化碳形成有机物质的过程中,只能利用氢或硫化氢等贮量不多的还原性原料。它们的发展范围是很有限的。所以从它们再进一步演化到具有可利用水作原料来和二氧化碳形成有机物质的光合功能的低等植物时,又是一个巨大的质的飞跃。这不但因为水是一个几乎用之不竭的来源,使光合作用可以绵绵不绝地进行,并且还因为光合作用在分解水时所伴随释放出来的氧气对生物的演化和地球面貌的改变有着非常重要的作用。

从地球化学的各种证据来看,早期的地球表面仅有微量的自由态氧气(由紫外线光解水产生),现在大气中的氧气基本上都是由植物的光合作用将水分子中的氧释放出来的。地球上积累了氧气,一方面使生物的进化得以出现能量利用效率很高的有氧呼吸的机能,为发展出需能很多的复杂的生命活动提供了基础,另一方面,一部分氧气转化成臭氧,它在大气上层形成了一个屏障,可以有效地滤去太阳辐射中对生物有强烈破坏作用的短波紫外光,使得生命活动可不局限于水

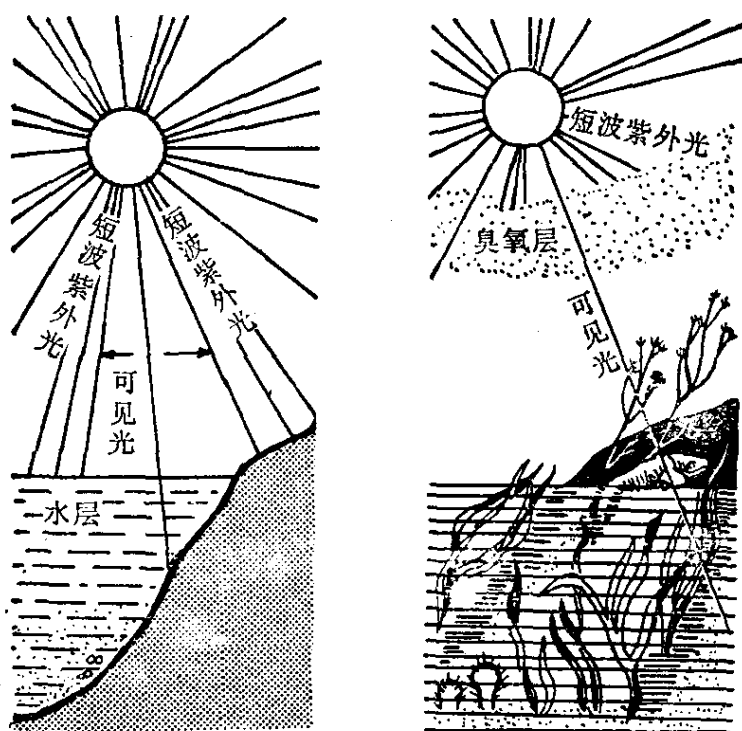


图 1-1 臭氧层滤去了太阳辐射中对生物有强烈破坏作用的短波紫外光

层以下(因为水层能吸收掉短波紫外光,见图 1-1),而开始在占地球表面近三分之一的陆地上繁殖演化。

大气中氧气的积累,除了对生物进化有无比深远的影响以外,还对地球表层的岩石风化、矿物形成和地貌改变有巨大影响。

直到今天,植物的光合作用仍然对地球大气环境的保护担负着重要角色。目前,在人们的生产和生活中每年燃烧着几十亿吨石油煤炭,大量消耗大气中的氧气并且增加空气中的二氧化碳。可是大气的成分却能大体保持稳定,适于我们生活,这是由于有无数植物在无声无息地通过光合作用吸收二氧化碳和放出氧气净化着空气的缘故。

三、光合作用的研究和应用

由于光合作用与生产、生活和科学上的这么多重大问题有着如此密切的关系，人们对它的研究非常重视。

作为自然科学中的一个重大基本理论课题，世界上很多实验室都在对光合作用的能量转换机理、二氧化碳同化、氧的释放过程、叶绿体的结构功能及其调节控制和遗传特性等方面正利用各种现代科学技术的新成就进行深入探讨。

联系生产来说，大部分的农业是人们通过辛勤劳动和管理，去大规模地利用绿色植物的光合功能，从而形成我们所需要的有机物质的过程。目前，光合作用研究已广泛联系到作物的栽培管理、遗传育种、抗灾除草、耕作制度的改革、生物资源的开发和利用等许多方面。在我国社会主义农业建设迅猛发展的大好形势下，科学种田的内容正在不断扩大深入，对植物光合作用知识的需要也日益增长。

因为光合作用的机构和功能有许多特色，所以除了对农业以外，它的研究还对工业、医药卫生、国防等建设具有应用价值。在医药工业中，已经有利用叶绿体的部分光合功能生产腺三磷的工艺，叶绿素的各种制剂也被用于制造药物等方面。在军事与航天中，有人正在研究应用光合功能来净化潜艇、宇宙飞船等密闭系统中的空气。这些工作尚只是一个开端，今后将有广阔的发展前途。

本书希望尽可能结合我国农业及其他有关方面，通俗、扼要地介绍光合作用研究的进展近况，并提供一些实用的技术资料，供农业科技工作者、上山下乡知识青年、生物及农业院校师生等参考。

第二章 植物是怎样长大起来的？

在农业生产中，我们经常可以看到一粒麦子或稻谷种到土中，它生根发芽，长叶分蘖，接着又拔节抽穗，形成一株几十厘米高的植株，每个穗子结出几十颗麦粒或稻谷。几个月内，整个植株所累积的干物质重量比原来一颗麦粒或稻谷的重量增加了几百倍。这些物质是从哪儿来的呢？

一、植物生长的物质基础和能量来源

初看起来，这问题很简单。一般绿色植物都栽在土壤里，那么它当然是靠吸收土壤里的养分长大的。人们的确也发现，在肥沃的土壤里，养分丰富，植物长得特别高大。但是，仔细一想，就会感到不大对头，我们每年从田里收获一批又一批的庄稼，怎么不见土壤少下去。虽然不断在施入肥料，但是如果是化肥的话，每亩每年最多不过以百斤计，而产量却要以千斤计，两者相差十倍以上，这究竟是怎么回事？

现在有一种无土栽培方法，完全不用土壤，而是在水中加入定量的化学肥料，就可以使许多庄稼正常生长，这方法不但在科学实验中应用，而且在特殊情况下（例如在没有适合植物生长的土壤的石山荒岛上）已有生产价值。通过这种栽培，不难准确地计算出来，植物吸收的化学肥料只占它身体物质来源的很小一部分（不过干重的百分之几）。

那么，其余绝大部分物质的来源是什么呢？植物生长需要大量水分，莫非水是一种原料吗？对，水分的确是构成植物

身体的一个重要物质来源,植物身体中不但含有大量的水,并且它的干物质中也有相当一部分是由水变来的。可是,在重量上,这还不是最主要的物质来源。科学实验表明,原来,构成植物身体的主要物质是二氧化碳,它一般从空气中吸收,虽然它在空气中的含量通常只有万分之三左右(图 2-1)。

从图 2-1 可以看到,植物身体干物质的组成,有百分之九

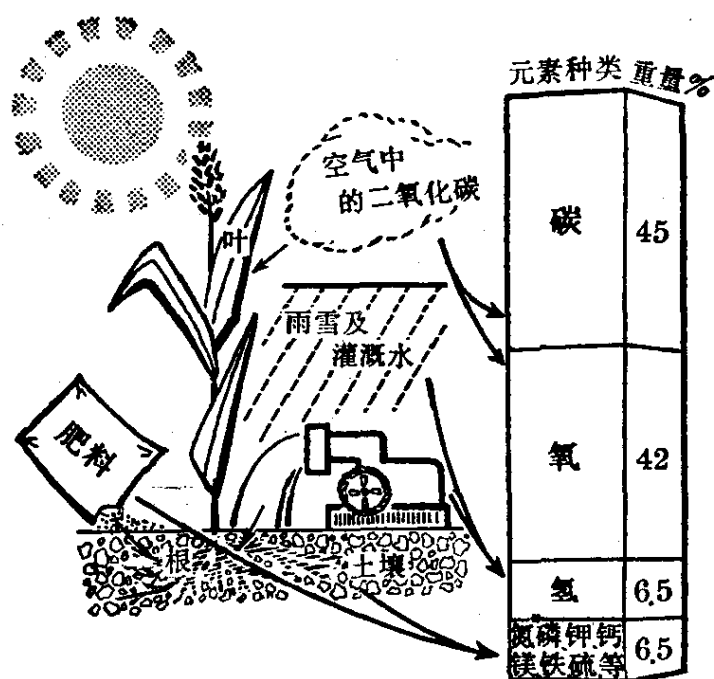


图 2-1 一般植物体的元素组成及来源

有些低等植物及有根瘤菌共生的豆科植物等可从空气中固定氮气

十几的物质是由二氧化碳和水变成的,只有百分之几的物质是由土壤及肥料提供的。但是,这样一来,却又引起了另一个疑问:二氧化碳和水,正是我们燃烧和呼吸时放出来的废物,我们通过燃烧与呼吸从燃料和食物中获得能量,而植物又能把燃烧和呼吸所形成的废物,再做成能为我们重新燃烧和呼吸的有机物质,构成了一个大循环(图 2-2)。人们在每一次循

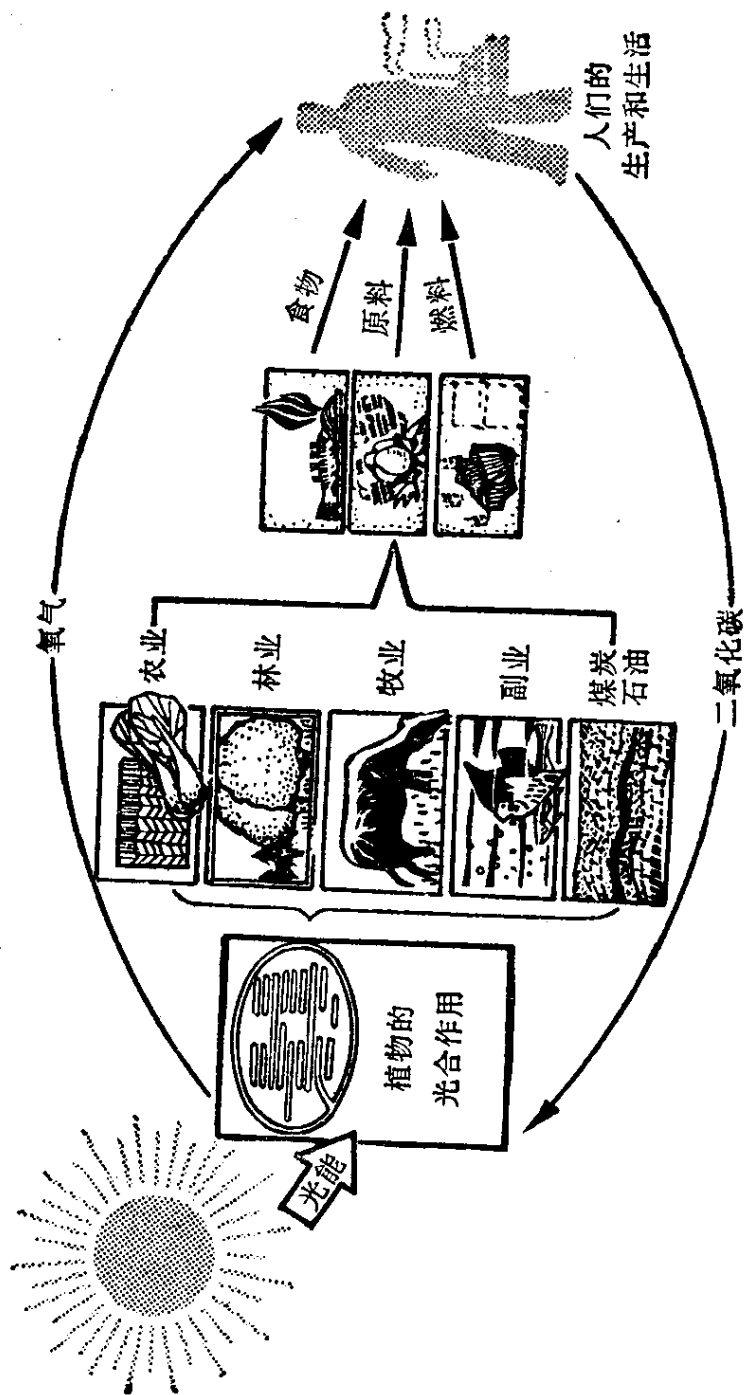


图 2-2 植物的光合作用和人们生产、生活的关系。

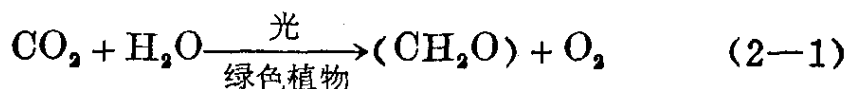
环中得到生产、工作和生活所需要的能量。可是，众所周知，能量是不能无中生有的。既然在每个循环中我们可以利用从有机物中释放出来的能量，那么植物必然要从某处得到能量来制造有机物，才能使这个循环往复地进行。

那末植物从哪儿去得到这些能量呢？人们作了不少努力，才找到这个问题的答案。原来这能量是从太阳光中得到的。绿色植物必须吸收光能才可使二氧化碳和水等无机物质合成有机物质。因此，人们就把这个过程称为光合作用。

至此，绿色植物生长的物质来源和能量来源问题总算弄清楚了。植物主要是靠光合作用同化二氧化碳和水长大的。当然，我们不能就此得出结论说，植物吸收的矿质肥料因为占其体重的比例很小所以就不重要。这些肥料数量虽不多，却是不可缺少的，不但不能没有，就是少了庄稼也长不好，这是我们通过日常经验也知道的。

二、光合作用的轮廓

光合作用包括许多中间步骤，其总过程大体可用下列化学方程式来概括地表示：



在这个方程式中， CO_2 和 H_2O 是原料， (CH_2O) 是糖类的基本单位（又称碳水化合物），代表光合作用形成的有机物质，因为一般情况下光合作用形成的主要产物是糖类（如蔗糖、淀粉、纤维素）。

在这个方程式中，我们还可以看到，在进行光合作用时，除了形成有机物质外，还有氧气生成，这氧气虽然对光合作用可以说是一个副产品，但是，正如前面所说的那样，它对整个