

声明

本电子书由中国农业出版社数字出版，相关权利归中国农业出版社拥有。读者、著作权人和（或）依法可以行使著作权的权利人如有疑问，请与中国农业出版社联系：

地址：北京市朝阳区麦子店街 1 8 号楼

邮编：100026

电话：010-64194921 010-65005894

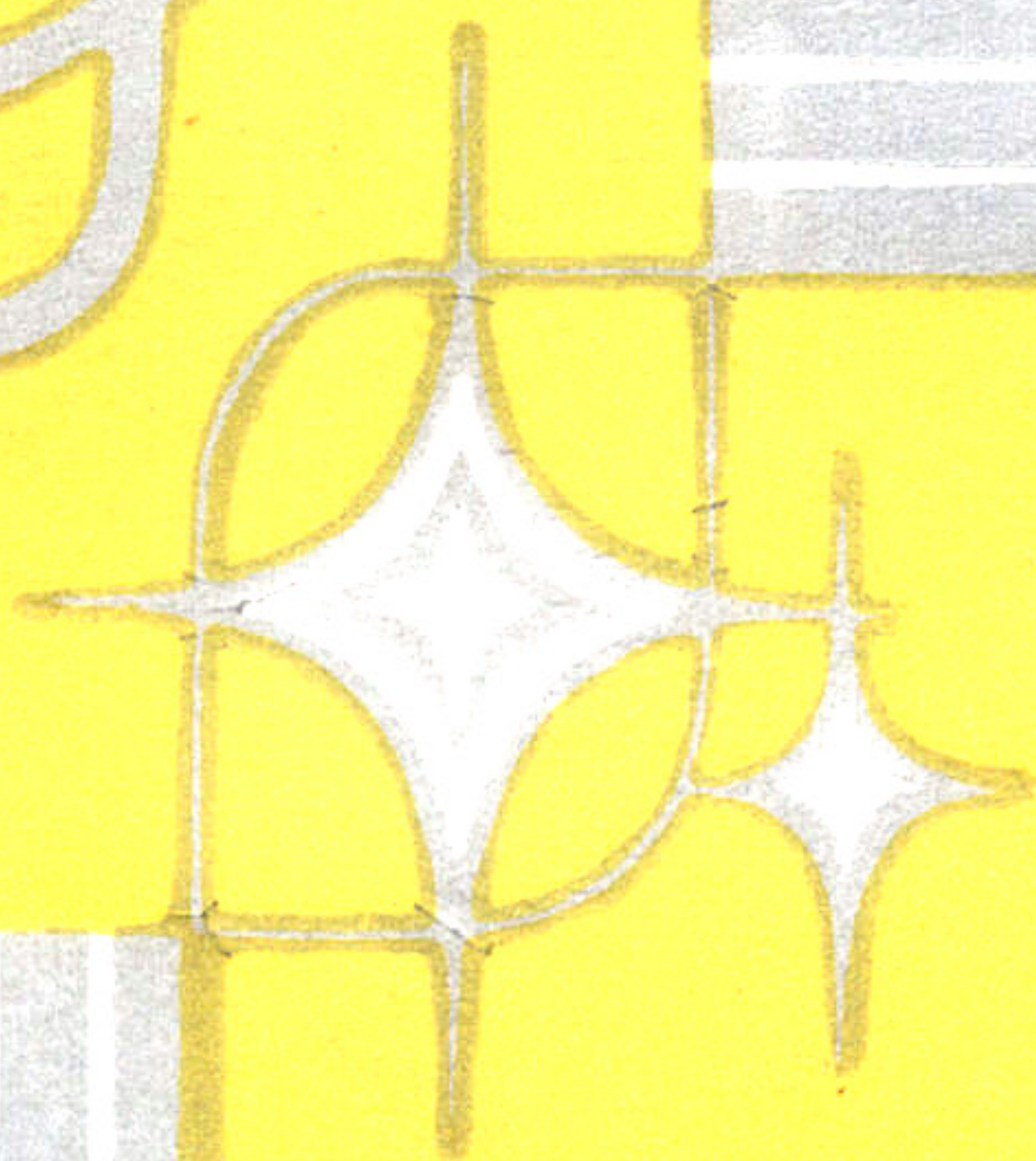
E-mail: lishanzhao@sina.com

中国农业出版社



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定



植物生物化学

● 汪沛洪 主编

● 农学类专业用

中国农业出版社

内 容 简 介

本书是根据1989年农业部高等农业院校教材指导委员会通过的《植物生物化学教材编写大纲》写成的。本书内容重点对植物体特有的代谢作较详细的叙述，并与动物或微生物的加以比较。

全书共分十章，除绪论外，主要包括植物碳代谢（光合、碳水化合物、细胞壁生化、呼吸脂类代谢）、氮代谢（固氮和氮化物代谢、核酸和蛋白质的生物合成）和次生物质代谢（生物碱、萜类和酚类）以及这些代谢之间的相互关系与调节，并把代谢变化与细胞器功能紧密结合起来，使读者对植物生化特点有比较系统的了解。在这基础上，尽可能反映当代植物生化的最新进展。

本书可作为高等农业院校和其他大专院校有关专业教材或参考书，也可供科研人员阅读参考。

全国高等农业院校教材

植物生物化学

汪沛洪 主编

农学类专业用

中国农业出版社

前 言

生物化学被誉为生命科学的“世界语”，它对生命科学各个领域的意义不言而喻。我国高等农业院校十多年来普遍为低年级大学生开设了“基础生物化学”，对于改善知识结构、拓宽眼界、提高学生的自学能力和适应能力，起到了良好的作用。考虑到学生的接受能力，以及同期其他课程的进度，基础生物化学课不可能过多地涉及植物特有的代谢。这对于农科各专业来说显然是个缺憾；在后期选修植物生物化学不失为一种弥补方法。为此，农业部全国高等农业院校教材指导委员会于1989年通过了《植物生物化学教材编写大纲》，本书就是根据这个大纲进行编写的，它可作为植物生理、生物化学、植物遗传育种、植物病理、植物化学、植物生态等专业的高年级大学生、研究生的试用教材，也可供其他专业的学生、教师和科技人员参考。

在编写本书过程中，我们设想：（1）学习本书的学生至少修过基础生物化学课程，为进一步学习植物生化专门问题打下了坚实的基础；（2）按照这个设想，本书省去许多在基础生化中已经论述过的内容，着重讨论植物特有的代谢，并与动物、微生物的代谢活动加以比较，以便突出重点、难点，而又不使篇幅过大；（3）为此，本书除绪论外，其他章节是以植物细胞的结构与功能为基础，按照代谢物的类别依次讨论植物体内碳代谢（光合作用、碳水化合物代谢、细胞壁的生化、呼吸和脂类代谢）、氮代谢（固氮生化、氮化物代谢、核酸和蛋白质的生物合成）和植物的次生代谢（生物碱、萜类和酚类），以及这些代谢之间的相互关系与调节，使读者对植物体的物质代谢有一个比较系统的了解；（4）为便于读者自学，本书使用了许多必要的图表、结构式和反应式；还在每章最后列出一些主要的参考文献，许多是1985年以来有关领域的专家综述，其中提供大量的原始文献，这会对读者深入了解某方面问题的研究动态有所帮助。以上这些设想是否能够达到预期的目的，还有待实践的检验。

参加本书编写的有汪沛洪（第一、七、十章）、张国珍（第五、六章）、文树基（第四、八章），还有西北农业大学郭蔼光（第三、九章）和王振镒（第二章）。另外，郭静成（北京农业大学）也曾参加了本书部分编写。

本书承华南农业大学李明启教授进行了精心的审校，并提出了许多宝贵的修改意见。本书的编写还得到北京农业大学阎隆飞教授、华中农业大学刘道宏教授的热情鼓励与大力支持，我们深表谢意。此外，西北农业大学杜英华、纪重光、文蓉、蒋宗刚和马北雁等同志协助誊写书稿和绘制部分插图，在此一并表示感谢。

在国内，作为正式出版的植物生物化学教科书，本书仅仅是首次尝试。由于编者水平所限，书中还会有欠妥乃至错误之处，我们欢迎任何方面的评论与批评，这将有助于本书再版时修改补充。

编 者

1993年1月于西北农业大学

目 录

前言

第一章 绪论	1
第二章 光合作用	4
第一节 光合生物	5
第二节 光合作用的光阶段	5
一、光合色素	6
二、光合色素的吸收光谱	11
三、色素—蛋白复合物	12
四、色素系统的作用机理	15
五、Z链	25
六、环式电子流	31
第三节 光合作用的暗阶段	32
一、光合碳还原循环（卡尔文循环）	34
二、光合作用的C ₄ 方式（C ₄ 途径）	45
三、景天酸代谢（CAM）	53
四、光合作用不同方式 ¹³ C/ ¹² C同位素辨别比的变化	57
五、光合细胞中淀粉和蔗糖的代谢	59
六、光产生的ATP向细胞质的运输	61
第四节 光呼吸	64
第三章 碳水化合物的生物合成	68
第一节 单糖合成及其衍生物的转化	68
一、通过生糖作用合成单糖	70
二、单糖衍生物及其相互转化	71
第二节 低聚糖的生物合成	83
一、双糖的生物合成	83
二、三糖、四糖和五糖	85
第三节 植物贮藏多糖的生物合成	91
一、淀粉及其生物合成	91
二、果聚糖的生物合成	99
三、甘露聚糖	102
第四章 植物细胞壁的生物化学	104
第一节 细胞壁组分	105
一、胞壁多糖	106
二、木质素	110
三、细胞壁蛋白质	112

四、水	113
第二节 细胞壁组分的生物合成	114
一、纤维素的生物合成	115
二、木葡聚糖的生物合成	117
三、果胶的生物合成	118
四、木质素的生物合成	118
第五章 呼吸作用	121
第一节 呼吸链	122
一、呼吸链的组成	122
二、呼吸链组分的排列顺序和电子传递过程	129
第二节 植物线粒体与抗氰呼吸	130
一、植物线粒体的特征	130
二、线粒体外部NAD(P)H的氧化作用	131
三、线粒体内NADH的鱼藤酮不敏感的氧化作用	133
四、抗氰呼吸	134
第三节 植物线粒体的代谢物运输系统	137
一、草酰乙酸载体	137
二、谷氨酸和天冬氨酸的运输	139
第四节 植物线粒体衬质酶类	139
一、苹果酸的氧化作用	139
二、甘氨酸的氧化作用	141
第五节 氧化磷酸化作用	143
一、 F_1 - F_0 因子的结构	143
二、氧化磷酸化机理——化学渗透假说的实验证据与不足	145
三、ATP合成的分子机制	146
四、氧化磷酸化的重组合	148
第六节 与ATP生成无关的类呼吸过程	149
一、微粒体的电子传递链	149
二、过氧化物酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶	151
第六章 脂类代谢	153
第一节 脂肪酸的代谢	153
一、植物中的脂肪酸	153
二、脂肪酸的生物合成	155
三、脂肪酸的降解	166
四、乙醛酸循环	172
五、脂氧合酶	174
第二节 中性脂的代谢	175
一、脂肪的代谢	175
二、蜡和角质的代谢	180
第三节 极性脂的代谢	184
一、甘油磷脂及其生物合成	184
二、糖脂及其生物合成	191

三、磷脂及其合成	196
四、极性脂的分解代谢	198
第七章 植物氮代谢	201
第一节 生物固氮	201
一、固氮体系	202
二、固氮作用的生物化学	204
第二节 氮的同化	212
一、硝酸盐转变成氨	212
二、氮的同化	217
三、氮的次生同化作用	219
第三节 氨基酸的生物合成	219
一、转氨反应	220
二、谷氨酸衍生的氨基酸	222
三、由天冬氨酸衍生的氨基酸	223
四、由丙酮酸衍生的氨基酸	226
五、甘氨酸、丝氨酸和半胱氨酸的合成	228
六、芳香族氨基酸	230
七、组氨酸	231
八、非蛋白质氨基酸的合成	232
第四节 细胞内氮的重新分配	233
一、脱羧作用	233
二、脱氨作用	236
三、羟基化作用	237
四、氨基酸转化生成的其他天然产物	238
第八章 核酸及其生物合成	254
第一节 DNA的结构	255
一、DNA的一级结构及其测定	255
二、DNA的二级结构	259
三、DNA的三级结构	263
四、核外DNA	263
第二节 RNA的结构	264
一、RNA的序列分析	264
二、tRNA的结构	265
三、rRNA的结构	267
四、mRNA的结构	268
第三节 DNA的生物合成	269
一、原核细胞的DNA复制	270
二、真核细胞的DNA复制	278
三、DNA的修复	280
第四节 RNA的生物合成	284
一、原核细胞的转录作用	284
二、真核细胞的RNA聚合酶	288

三、转录后加工	290
第九章 蛋白质生物合成	296
第一节 遗传密码	296
一、密码子是三联体	296
二、遗传密码的破译	297
三、密码子的主要性质	299
第二节 蛋白质生物合成体系	301
一、核糖体及多核糖体	301
二、mRNA	304
三、tRNA	305
四、氨酰-tRNA合成酶	308
第三节 蛋白质生物合成的机制	312
一、蛋白质生物合成的起始	312
二、蛋白质生物合成中肽链的延伸	318
三、肽链合成的终止	321
四、蛋白质的翻译后修饰	322
第四节 蛋白质合成的细胞定位与胞内运转	322
一、游离多核糖体的功能	322
二、与膜结合的多核糖体的功能	322
第五节 真核生物蛋白质合成的调控	324
一、蛋白质因子的共价修饰	325
二、某些起始因子的降解	326
三、mRNA掩盖蛋白和翻译控制RNA	326
四、mRNA 5'-端非翻译顺序与反式作用因子	326
五、mRNA 3'-端的多聚腺苷化	327
六、能荷的调控作用	327
七、反义RNA的作用	327
八、环境胁迫的影响	328
第六节 糖蛋白	328
一、糖蛋白的结构	329
二、糖蛋白的合成	330
三、糖链部分的生物学功能	332
第十章 植物次生物质及其生物合成	334
第一节 生物碱	335
一、生物碱的分布和定位	336
二、真生物碱和原生物碱的生物合成	337
三、生物学功能	359
第二节 萜类和类萜类	360
一、基本结构和分类	361
二、生物合成	362
三、功能	381
第三节 植物酚类	383

一、由乙酸产生的多酚化合物	383
二、由莽草酸途径产生的酚类化合物	388
三、由苯丙基类产生的酚类化合物	391
四、由乙酸和莽草酸共同产生的酚类	397
五、酚类合成的调节	405
六、酚类物质的功能	406

第一章 绪 论

生物化学是研究生物体的物质和化学过程的一门科学。它包括鉴别并定量测定这些物质，研究它们的结构，确定它们在生物体内的化学变化，阐明它们在生命活动中的作用。从Neuberg (1903年) 首次使用Biochemistry这一术语至今，生物化学的各个领域都取得了许多重大成果，成为当代发展最为迅速的学科之一。据美国的 Science Citation Index统计，世界各国出版的包括自然科学基础与应用各个领域的 4 000多种期刊中，无论以发表论文篇数或者以被引用其文章的次数统计，生物化学方面的杂志都占领先地位。另外，从生物化学一些重大发展的深远影响来看，50年代以来由于在生物化学方面的贡献而获得诺贝尔奖金的占了生理医学奖的一半以上，和化学奖的1/3，这一比例已远远超过本世纪上半世纪中由于核物理研究方面的贡献而得奖的比例。这些事实从一个侧面充分说明了生物化学在现代科学尤其是生命科学发展中的领先地位。

由于人类对自然资源过度的开发利用，尤其是近代工业的兴起，严重地破坏了生态平衡，产生了人类历史上前所未有的环境危机。在大自然的惩罚面前，“保护环境就是拯救人类自己”的呼声很高。人们已经意识到，绿色植物和藻类不仅是生物圈食物链最基本的一环，而且是维持生态平衡和保护环境的最重要的因素，对人类的生存具有无可估量的意义。在这种背景之下，在生物化学其它领域飞速发展的推动下，植物生物化学在最近二十年确有长足的进步。例如1981年出版的Stumpf和Conn等主编的The Biochemistry of Plant共八卷，计五千余页，内容已经相当丰富了。从那时到现在，植物生物化学又有许多新进展，尤其是在植物分子生物学和植物基因工程等方面。今天的植物生物化学已不再局限于纯理论研究，不少领域已进入实际应用阶段，在解决生物科学或农业生产的理论与实际问题方面发挥着越来越重大的作用。

从微生物到植物和动物，各种生物的体形和生活习性异彩纷呈，使人眼花缭乱，但却有着共同的起源和相近的化学组成，这意味着在所有的生物体内进行着极其类似的化学过程。对各类生物相应的生物化学过程进行的研究表明情况基本如此，不同的仅仅是若干细节。这些在基础生物化学中已经系统地阐述。另一方面，为了适应各自所经历的环境变化，各种生物在保持基本化学过程类型的前提下，形成和发展了自己特有的代谢途径和协调方式，成为生物化学各分支的研究领域。

生物体具有高度有序的复杂结构。为了复制、维持这些结构，生物必须不断与环境进行物质交换，从这种新陈代谢中取得所需要的物质和能量。从代谢的角度看，生物可以分为自养和异养两大类。自养生物只需简单的无机养分，就能够合成自身生长繁殖所需要的全部复杂有机物。自养生物包括化能自养和光能自养两种类型。前者如铁细菌、硫细菌等，利用还原性无机物的氧化提供能量；光能自养生物包括光合细菌、藻类和绿色植物，它们可以利用太阳光能把简单的无机养分转变成糖、脂类和氨基酸，并进一步合成更为复

杂的有机分子。异养生物必须以自养生物合成的有机物为基本养分，合成自己特有的复杂有机物，并依靠氧化这些有机养分取得能量。某些细菌、低等植物和所有的动物都是异养的。因此，植物比动物有更为复杂的代谢网络和更巨大的生物合成潜力。作为多细胞生物，一般而言，动物细胞的分化程度比植物高得多，而植物细胞大都是“全能性”的。再考虑到植物不具备动物那样主动回避不利条件的能力，而必须依赖调整自身的代谢来适应外界环境的变化，所以植物细胞代谢调控机制也要比动物复杂得多。由于一些技术方面的原因，植物生物化学研究较为困难，比动物生物化学和微生物化学落后许多。许多代谢途径通常首先在动物或微生物中阐明，再用植物组织试验，以确定同样的途径是否也在植物中起作用。本书不少地方应用比较法，以便在植物生物化学缺乏足够的资料时，可以利用动物或微生物生化的相同领域的资料。

绿色植物和藻类的光合器官能吸收并截留太阳光能，并利用它固定和还原二氧化碳，从而形成植物代谢的一大特色——光合作用。光合作用是植物生理生化传统的研究范畴，具有重大的理论意义和实用价值。本书第二章比较深入、系统地介绍了光合作用的光反应；鉴于光合碳途径已经在基础生物化学中作了相当详细的介绍，这里仅作一般性概述。光合作用是地球上规模最大的生化反应，据估计每年有大约 2×10^{11} 吨无机态碳经光合作用转化为有机物。糖类是光合作用的初级产物，也是地球上最大量的有机化合物。本书第三章重点介绍了植物体内主要贮藏糖类的生物合成及有关代谢调节。

植物细胞具有细胞壁，是植物最显著的特征之一。细胞壁不仅赋予植物细胞一定的机械强度，使之保持一定的形状，而且在很大程度上决定细胞的功能，参与代谢和生长发育的调节，以及植物寄主与病原体之间的相互作用，是植物生化又一个不容忽视的研究领域。本书第四章重点介绍了高等植物细胞壁的主要组分及其生物合成。

植物通过呼吸作用有控制地、逐步地将部分光合产物氧化分解成二氧化碳和水。在这一过程中释放的能量约有40%—60%被用来合成“生物能量通货”ATP，其余能量以热的形式散失。ATP随即被植物以不同的方式利用，如用于主动吸收和物质运输，或用来合成多糖、脂肪、蛋白质、核酸等。鉴于一般生物化学教科书对这方面均有详细的论述，本书第五章集中讨论呼吸链的结构与功能，氧化磷酸化的机制，以及植物线粒体的特征和特有的抗氰呼吸等。

脂类是生物体内另一类重要的组分，尤其是磷脂、糖脂等极性脂，是构成生物膜的基本组分；许多植物种子以脂肪作为贮藏物质，以供萌发时使用；蜡质和角质构成植物外表面惰性保护层。本书第六章系统论述植物体内脂类的代谢，并比较了与动物和微生物脂类代谢的异同。

植物与动物主要的生物化学差别在于它们生物合成本领的不同。植物能利用硝酸盐、硫酸盐和光合作用与呼吸作用中间产物合成所需要的全部氨基酸，许多植物还能借助于共生的固氮微生物把大气中的分子氮转变成氨。这样，固氮生物化学和对氮素的还原与同化就构成了植物生物化学另一个重要领域。本书第七章对此作了较详尽的介绍；同时还介绍了植物中生氰糖苷、多胺、卟啉类以及若干植物激素和辅酶的合成。

核酸和蛋白质是生命活动的物质基础，是最重要、最复杂的生物大分子。核酸和蛋白质的生物合成与调控即基因的表达与调控是现代生命科学最令人关注和发展最快的研究领

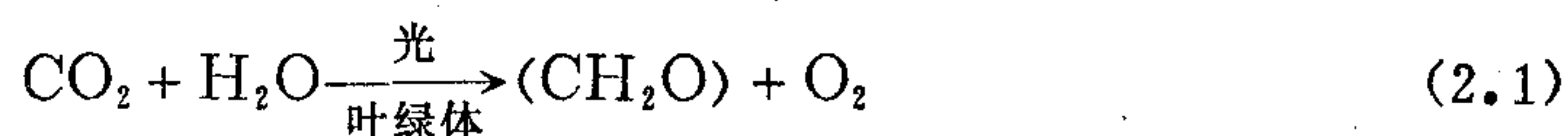
域，当然也是植物生物化学必须讨论的重大课题。在本书第八、九两章除了一般地介绍原核细胞和真核细胞核酸和蛋白质的生物合成和调控，还论述了植物与细菌和动物在这方面主要的异同之处。希望通过这些比较使读者对植物细胞中的信息代谢有一个概括的了解，为进一步学习植物的分子生物学与基因工程奠定必要的基础。

植物在生物合成方面巨大而多方面的才能还体现在它们可大量合成生物学功能尚不明了的复杂物质，包括许多非蛋白质氨基酸、生物碱、类萜和类黄酮等。植物对这些次生代谢方面的本领大大超过动物，构成了植物生物化学又一个重要领域。有关植物次生代谢的研究在许多方面还有待深入，但已积累了相当丰富的资料。考虑到一般读者的实际需要情况，本书第十章仅着重介绍有代表性的生物碱、类萜和酚类的化合物及其生物合成。

我们希望通过这样的安排能较好地体现生物大分子结构与功能之间的内在联系，较好地说明信息代谢与物质代谢和能量代谢，以及初级代谢与次生代谢之间相互联系又相互制约的辩证关系，为在植物细胞内进行的生物化学过程勾画出完整而简明的图像。

第二章 光合作用

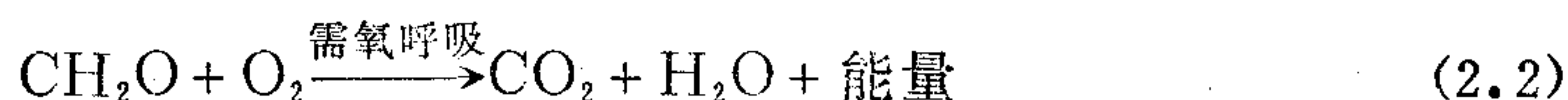
植物在生命活动过程中所产生的全部有机物质的碳骨架都来自其光合作用。光合作用是含叶绿素的生物在光下利用二氧化碳和水合成有机物质，并放出氧的过程。



式中 (CH_2O) 代表碳水化合物。这是光合作用的总反应式。实际上，光合作用是一个多步骤的极其复杂的过程，至今尚未完全了解。从1771年英国人Joseph Priestley用实验证实绿色植物能够净化空气起，200多年来经过许多科学家的努力，人们已经对于光合作用的机理的概况有了相当的了解。

第一，从反应式可知 CO_2 是碳的氧化状态，而碳水化合物 (CH_2O) 是碳的还原状态，所以 CO_2 通过反应(2.1)后被还原为 (CH_2O) ；而还原所需的氢来自于水。

第二，在呼吸作用中，碳水化合物被分解成 CO_2 及水（光合作用的逆过程）时，释放大量的自由能如反应(2.2)。因此可以推测 CO_2 转变成碳水化合物时需要输入大量的能量。



$$\Delta G_0 = -2872 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ (葡萄糖)}$$

第三，现已知道在反应(2.1)中，氧化还原系统 $\text{CO}_2/(\text{CH}_2\text{O})$ ($E'_0 = -0.4\text{V}$)的 CO_2 要从另一个氧化还原系统 $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ ($E'_0 = -0.82\text{V}$)的 H_2O 中得到电子而被还原。因此一个电子被迫沿电化学梯度上行，这就必须输入能量。现在已经了解，输入能量的作用之一是迫使 $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ 系统中 H_2O 所提供的电子沿电化学梯度上行，去还原 $\text{NADP}^+/\text{NADPH}$ ($E'_0 = -0.32\text{V}$)系统中的 NADP^+ 成为 NADPH ，然后 NADPH 再在 CO_2 的还原中起还原剂的作用。输入能量的作用之二是产生ATP。ATP把能量贮存起来，满足还原 CO_2 的需要。

第四，因为光合作用必须在光下进行，很容易推测出推动光合作用的能量是光能。因此，光合生物必须具有截获光能并把它传给光合过程中的其他参加者的机制。截获光的物质是色素，其主要成分是叶绿素。光合作用的简要过程可用图2—1来表示，从中可以明显看出光合作用的几个要求：① CO_2 转变成碳水化合物需要 (a) 还原力($\text{NADP}^+/\text{NADPH}$ 氧化还原系统) 和 (b) ATP；②只是在生成还原力和ATP时需要光；③如果能另外得到还原力和ATP， CO_2 转变成碳水化合物就不需要光。这些需求概括了Blackman在1905年所做的观察，即光合作用包括依靠光的（光）反应和不依靠光的（暗）反应。依靠光的光阶段包括还原力和ATP的产生；而不依赖光的暗阶段包括利用还原力和ATP把 CO_2 转变成碳水化合物的过程。不过，此点要加以修正，因为现已发现在暗反应阶段的多种酶是受光调节的。这点将在下文中详细论述。

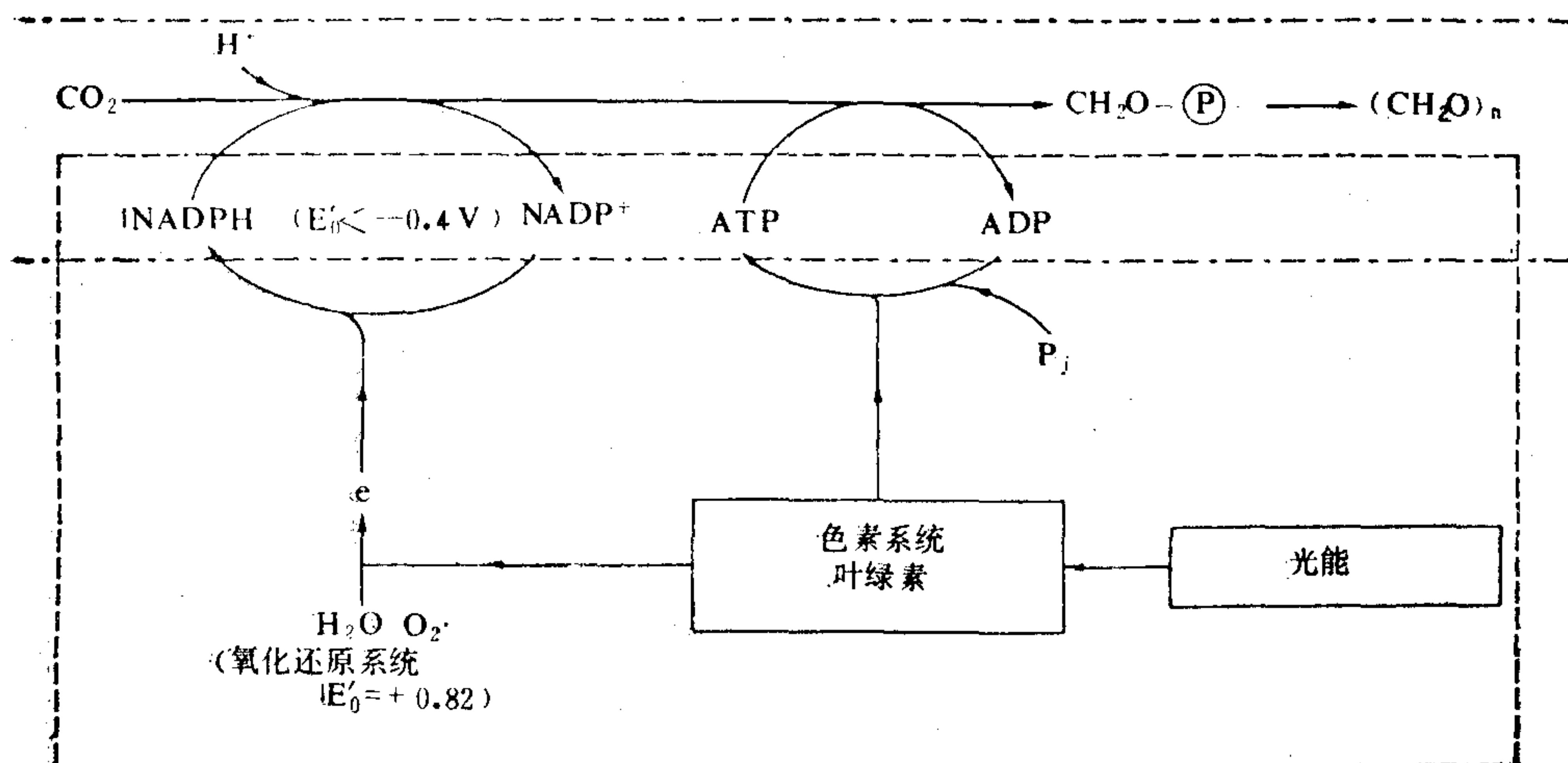


图 2—1 光合作用简要过程
 - · - · - · - 暗阶段 - - - - - 光阶段

第一节 光合生物

光合作用可由含有叶绿素 a 或细菌叶绿素 a 的任何一种生物进行。这些生物包括光合细菌、藻类和高等植物。它们由于含有叶绿素而大多数呈现绿色，少数因为叶绿素的颜色被其他色素所遮蔽而不是绿色（如褐藻、红藻、紫红色叶的观赏植物等）。此外，某些细菌也能进行光合作用。这些细菌有红螺菌目 (Rhodospirillales)，包括两个亚目：红螺菌亚目 (Rhodospirillineae) 和绿硫细菌亚目 (Chlorobiaceae)。红螺菌亚目由两个科组成：着色菌科 (Chromatiaceae) [以前叫做红硫菌科 (Thiorhodaceae) 或紫硫细菌 (Purple Sulphur bacteria)] 和红螺菌科 (Rhodospirillaceae) [以前叫做红色无硫菌科 (Athiorhodaceae) 或紫色非硫细菌 (Purple non-sulphurbacteria)]。绿硫细菌亚目只有一个科：绿菌科 (Chlorobiaceae) [以前叫做绿杆菌科 (Chlorobacteriaceae) 或绿色硫细菌 (Green sulphur bacteria)]。

虽然本书论述内容着重于高等植物，但值得注意的是：A. Benson 和 M. Calvin 利用绿藻研究光合作用 CO_2 的固定和还原，Deisenhater 利用紫色光合细菌 RPS Viridis 研究光合作用中心，都取得了突破性的进展。两项工作都获得了诺贝尔化学奖。这足以说明低等光合生物在光合作用机理研究中的重要作用。

第二节 光合作用的光阶段

正如图 2—1 所示，在光合作用的光阶段中，光合生物利用光能产生 ATP 和 NADPH (还原力)。 NADPH 是由提供的电子还原 NADP^+ 产生的。当从水中取得电子去还原 NADP^+ 时，就产生 O_2 。因此，氧是光合作用的副产品。

由图2—1所示的 E' 。还可以看出，为了把电子从水转移到 NADP^+ ，需要供给能量，迫使电子逆电化学梯度上行（从 $+0.82\text{V}$ 到 -0.32V ）。从计算得知，每产生 1mol NADPH 约需要 220kJ 的能量。已知每产生 1mol 的 NADPH 需要 4mol 红光(700nm)的光子，每摩尔红光(700nm)的光子具有 171kJ 的能量，共具有 684kJ 的能量。需要这么多的能量可能由于同时产生 ATP 。通过 ADP 磷酸化产生 1 摩尔的 ATP 约需要 30.5 千焦耳的能量。

从水到 NADP^+ 的电子不是直达的，而是通过若干氧化还原系统进行传递，称之为电子传递链；光系统 I (PSI) 和光系统 II (PSII)，在两个不同的位点上插入这一电子传递链，用于输入能量迫使电子沿电化学梯度上行（图2—2）。

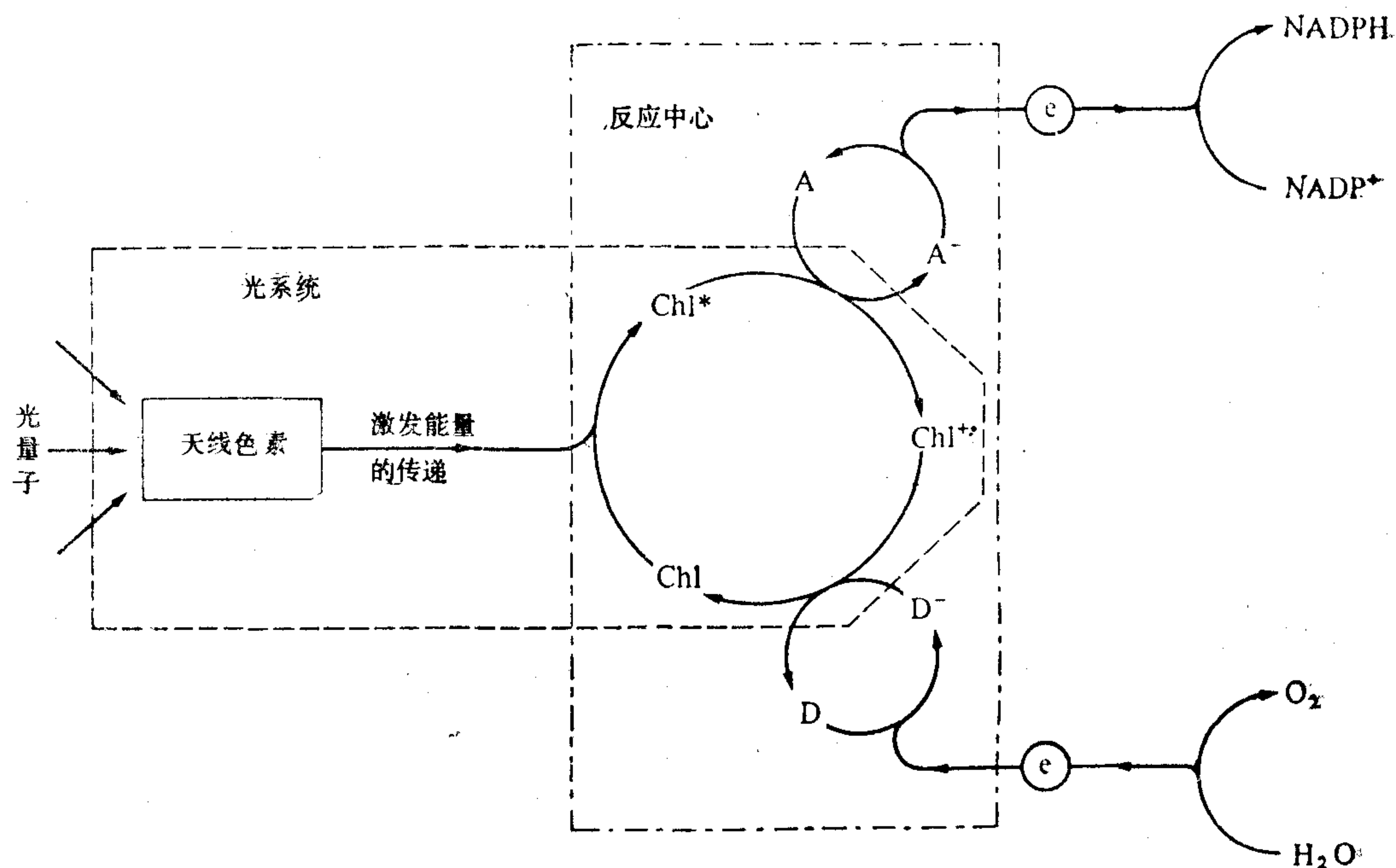


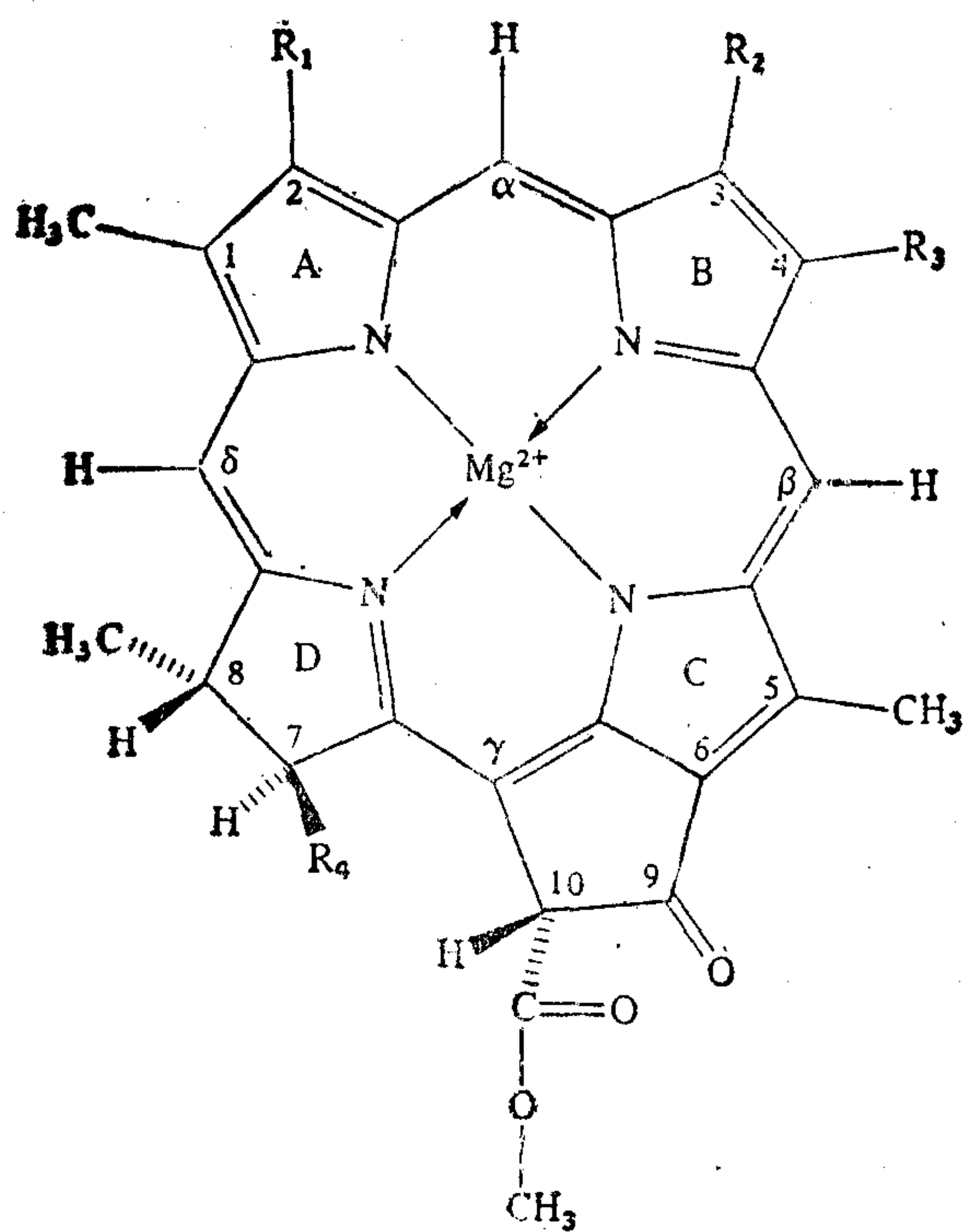
图 2—2 光系统 I 和 II 运转的简明示意图

虚线所包括的反应中心部分代表 PSI 或 PSII 。 PSI 和 PSII 在两个不同的位点插入从 H_2O 到 NADP^+ 之间的电子传递链。它们各自具有不同的受体(A/A^-)和供体(D/D^-)氧化还原系统。图中没有显示化学计算和氧化还原反应机理

一、光合色素

各种植物的光合色素明显地分为三类：叶绿素、类胡萝卜素和藻胆素。叶绿素和藻胆色素都属于四吡咯环化合物，叶绿素的四个吡咯环闭合组成一个叶啉环，而藻胆色素的四个吡咯环不闭合。三类色素都是以色素蛋白复合体的形式存在于植物叶绿体的类囊体膜上。

(一) 叶绿素 从植物中已经提取出四种不同的叶绿素，它们的结构和分布分别见图2—3和表2—1。



叶绿素种类	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	C-7 和 C-8 失去 H, 形成7, 8间的双键
a	—CH—CH ₃	—CH ₃	—CH ₂ CH ₃	X (见下型)	无
b	—CH—CH ₃	—CHO	—CH ₂ CH ₃	X	无
c ₁	—CH—CH ₃	—CH ₃	—CH ₂ CH ₃	—CH=CHCOOH	有
c ₂	—CH—CH ₃	—CH ₃	—CH=CH ₂	—CH=CHCOOH	有
d	—CHO	—CH ₃	—CH ₂ CH ₃	X	无

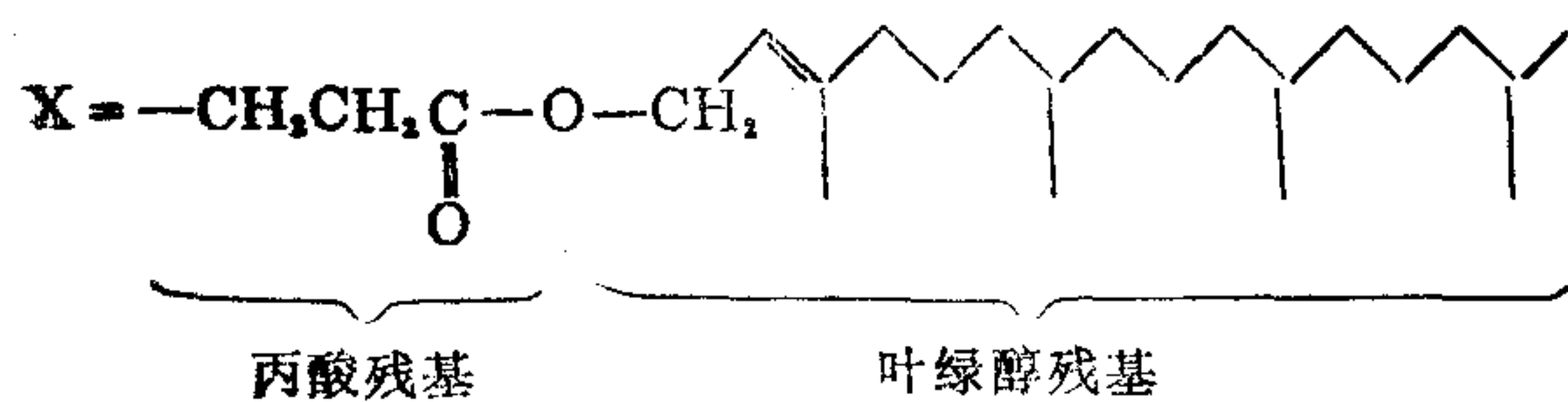


图 2—3 叶绿素结构式