

光与生命

〔英〕L. O. 布琼 著
科学出版社



光 与 生 命

【英】L. O. 布琼 著

汉 槎 译

科 学 出 版 社

1 9 8 4

内 容 简 介

本书在生物学、物理学和化学的基础上,介绍了有关光生物学各个方面的基础知识,使读者对光在整个生命过程中所起的关键性作用有个初步的认识,对于这门边缘科学的重要性也可获得一些新的概念。

本书为中级科普读物。可供生物系师生、各级科技人员和爱好生物学各门边缘科学的青年们阅读参考。

L.O.Björn

LIGHT AND LIFE

Hodder And Stoughton 1976

光 与 生 命

〔英〕 L. O. 布琼 著

汉 槎 译

责任编辑 谢 诚

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院开封印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1984年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1984年 4 月第一次印刷 印张: 8 3/8

印数: 0001—7,150 字数: 160,000

统一书号: 13031·2533

本社书号: 3474·13—6

定 价: 1.05 元

译 者 的 话

在生命科学越来越得到长足发展的今天，不但新的发现层出不穷，而且应用的面也越来越广泛。其基本的源泉出之于其它学科，如物理、化学、数学等自然科学和电子计算、化工、仿生等技术科学的渗透、交流和应用，也就是说，得力于多学科间的边缘科学的发展。生物光学或光生物学就是其中的一门，其发展还正方兴未艾。诸如各种生命过程的能量转移、光合作用、生物发光、生物色彩、生物视觉、生物光导、生物节律、生物光效应、光仿生以至光在生物进化过程中的作用等等，无一不是既具有供人探索的奥秘胜境，又具有在技术科学的领域中供人应用的价值。读了这本书既可以增加许多知识，又可以使自己的思路更为开阔，起触类旁通的功效。例如书中介绍了光照序列对植物开花的控制作用，对经营花卉业的同志来讲，是一种引导他取得经济效益的最有用的基础知识。通过了解其中的基本规律，再对他所抚育的各种花卉进行科学实验以控制花期时，可以达到“四时开不断之花，八节取经营之果”的技术上和经济上的佳境。

因此，我很愉快地利用假期，一口气译完这本科普小册子，交科学出版社出版，以供爱好科技的读者们的益智之需。在翻译过程中，对原书个别段落，作了删节。失误之处，尚望大家随时指正为感。

译 者

1979年于合肥

前 言

记得我小时候有一件织着许多花卉图案的毛衣。一天，我拿起一把剪刀把上面我认为是最美丽的一朵花剪了下来。所得到的却是一堆乱七八糟的断头毛线。

一位科学家，当他被大自然的某项杰作扣动心弦时，就往往企图把它截取下来付诸笔墨，写作成书，以飨读者。他想要描述的图案一般都具有非常复杂的形式，可是只能从它切下一个方块，或者至少一个长方块来（否则它就在书里安排不下）。但是有些线索却难以用直截了当的方法予以切断。至少等到切好之后，却发现美丽的图案已不复存在，只看到些飞绒断线。虽然尽最大的努力把它们编织起来，然而美丽的图案已不再可睹。

我应当承认，上面这个剪毛衣的故事是特别为这篇前言而写的。它与本书真似如出一辙。虽然以后我要避免讲故事，但也不可否认，我已把有关联性的问题予以简化，而且也不能说我已经一般在一般能接受的“事实”与在一本科学教科书中理应载入的那些未经完全测验的假说之间作了区别。凡是受到启发，想去深入研究的读者可千万不要把本书的内容作为永久的真理。如要钻研得更深一点，不妨参阅本书以外的一些有关文献。

引 言

在人类的意识中，光明代表优越的力量，黑暗代表邪恶。在世界各地有意识地崇拜太阳，从来都很普通，文化较发达的诸如日本人、埃及人和印加人等尤其如此。相当明显，基督教起源于中东史前崇拜太阳的宗教，这在圣经中可以找到不少证据。

因此，自古迄今，光在人类的意识中一直起着中心的作用。现代科学家们已经证明光不但为人类所必需，而且也为地球上所有的生命所必需。

整个生物界的机器所需的能量都起源于太阳。日光被绿色植物所吸收转变为化学能。但是对有生命的生物体来说，日光还不只是能源，也是它们在空间上和时间上定向定位所需要。在动物界中好几个不同门类的动物的视觉型式，都进化到高级水平；各种植物，也能进行由光照导引的运动，以寻找为产生它们的营养所需的日光。

每日光周期的长短决定了一年中什么时候候鸟该迁飞，什么时候花该开放。光照的条件还决定了马铃薯的茎该发育成绿色的主茎还是棕色的薯块，决定了蚜虫该长出翅膀还是不长。蜜蜂依靠对天空偏振光的观察，追踪飞向花丛和返回蜂巢的道路。

最后，生命的最早起源以及它通过漫长的遗传突变的链而发生的进化也都与短波长的光线（紫外线）有密切的关系。

以上所举的几个例子非常简略地勾划出了光生物学这门分支学科的轮廓。这本小册子的目的，就是想以简单的方式把我们在这个领域中的知识介绍给大家，同时也提出几个至今还没有找到答案的问题。

目 录

译者的话	(i)
前言	(ii)
引言	(iii)
1 物理和化学的原理	(1)
2 在生命世界中能量的摄入：光合作用	(18)
3 生物发光	(67)
4 视觉	(80)
5 空间定向	(143)
6 时间定位	(170)
7 皮肤的光生物学	(198)
8 光在地球上生命的起源和进化中的作用	(210)
9 人造光	(232)
10 光化烟雾	(245)
11 光和我们宇宙的概念	(251)
附录	(257)

1 物理和化学的原理

光的本质

光是什么？大家知道发自太阳和其它天体而到达地球的光线，曾越过广阔无垠的太空。光显然不同于声和热，它可以不依靠物质而存在。当光不受物质影响时，它沿着一直线而飞驰。从这种现象以及其它的证据，已能对光作出定论：它是一种称为光子或光量子的微小粒子流。

可是，有某些现象还不大好用这种光的粒子理论加以解释。在某些情况下，光的行动在方式上令人联想到水波，因此有时候把光称作一种波状运动。例如在水面上一薄层油膜所形成的虹彩，或者从肥皂泡中所看到的色彩，都不能用粒子论予以解释。可是用波动论解释起来就很漂亮，只需认为不同的波系有可能相互区别，认为“波峰”与“波谷”可以互相抵消就行。从一层油膜的上表面所反射的光以及从其下表面所反射的形成了两个不同的波系。当某种颜色的光消失时，就可看到它的补色。例如这层油膜的红光如果消失，看上去就是绿色的。

大家都知道水面上的波是什么。稍稍多动点脑筋，也能理解声波是空气分子的振荡。但当我们谈到在空无所有的太

空中的波时，就令人费解了。在无物可资振荡时，又由什么造成振荡呢？物理学家经常谈到电磁波运动，对这种表达法还需要作些说明。

电磁波运动由电场和磁场的轮番交替所组成。当一个电场作用于一个荷正电的粒子时，所产生的力与电场的方向一致；但作用于一个荷负电的粒子所产生的力，则方向相反。磁场可以作用于与此场作相对运动的带电粒子。按照光的波动理论，一束光包含一系列不断地轮番交替着的短暂电场和短暂磁场。对一束自北向南运行的光来说，在这一瞬间有个方向朝东的电场和一个朝上的磁场，下一瞬间就换成一个朝西的电场和一个朝下的磁场，就这样地循环反复下去。

以后，当我们谈到有关振动平面或偏振平面时，指的就是电场的平面（在上述的凡例中，就是指水平面）。日光或灯光都含有好多个不同的波系，由它们混合而成，它们具有不同的振动平面和不同的振动频率。象这类光并没有特殊的偏振平面，因而不是偏振光。相反，要是一束光具有突出的振动平面，它就是面振的。光的另一种偏振叫做圆振，留在第八章中再予描述。

物质都由荷电的粒子所组成（荷正电的原子核以及荷负电的电子）。当光波在这些带电粒子中穿过时，它们就受到电场和磁场（通常合起来称之为电磁场）的力的作用。以后还要谈到电子（它们比原子核轻得多，而且较易直接受影响）会怎样反应，它们的运动途径（轨道）也可能被光的电磁场所变更。

光波在真空中的传播速度都是一样的，大约每秒300,000公里（或更精确点每秒为299,792.4562公里）。光波也可以在某些种类型的物质中传播，但传播的速度总是比较低。

在本世纪初光的粒子论曾为大家所抛弃，那时候有利于波动论的论证占压倒优势。可是不出几年后，由于各方面的发现，使情况又有所转变。各种光电现象和光化学反应只能以粒子论为依据来解释。大家不得不承认，虽然某些现象只能把光作为波状运动来解释，可是另外有不少现象却只能把光作为粒子流来看待才能解释。此后这个物理现实的双重性又有所发展，使得在某些情况下把物质作为一种波动现象，而在其它情况下却作为一种粒子现象看待。光的这种双重性现在已被普遍地接受。这种看来似乎连常识都讲不大通的事实应认为是对常识的欠缺，说明了我们的思想在对一种复杂的现实的想象上还存在着缺陷。

长时期来，大家都习惯于把各种不同颜色的光看成为无非是由于存在着不同波长的光所致。光的波长现在已可测量得如此精确，从而已成为国际长度标准的基石。例如一米的定义是在真空中一种红光波长的1,650,763.73倍。波长从0.0004到0.0005毫米的光形成从紫、蓝到蓝绿的各种色彩。波长从0.0005到0.0006毫米的光相当于从绿到黄的色彩，从0.0006到0.00075毫米的光则为橙到红色。此外还有波长更短的紫外线和波长更长的红外线辐射。在它们之外还有其它的波谱区段（图1）。

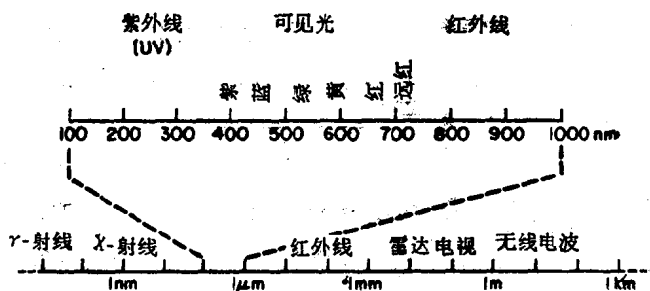


图1 具有不同辐射波长的电磁波谱示意图。除了大家所熟悉的符号外，还使用了以下的简写符号： μm = 微米， nm = 毫微米

如果不说明光的波长（以希腊字母 λ 标示）多少，说明其频率有多少也可以。频率就是每秒钟的振荡数，以希腊字母 ν 记之。我们如把光速记作 c ，就有个通用的关系式 $c = \lambda \nu$ 。因此波长越短，频率就越高。另有一个重要的关系式为 $E = h\nu$ ，其中 E 代表每个光子的能量， h 就是所谓普朗克（Planck）常数。这个公式说明频率越高（即波长越短），每个光子的能量就越大。例如橙色光（ $\lambda = 0.0006$ 毫米）的每个光子所拥有的能量值只及紫色光（ $\lambda = 0.0004$ 毫米）的三分之二。

由于光波的波长如此之短，因此通常都以微米（ μm ）或毫微米（ nm ）为单位表示，1微米 = 0.000001或 10^{-6} 米，1毫微米 = 0.000000001或 10^{-9} 米。

光以及其它电磁辐射所构成的物理现实的部分要比一般所认识到的大得多。在整个宇宙中每有一个构成物质的基本粒子，在比例上就可能有好几百万个光子。但在我们身边的

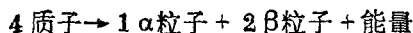
环境中这个比例就不是这样了，然而这反而是一种特殊情况。在各个天体之间的“渺无一物”的太空中交错着朝所有方向飞驰的光子，其中许多都已经以每秒299,792.4562公里的速度飞驰了几亿年，并没有因相当接近于一个物质粒子而被吸收掉。

光的来源

在地球表面上所有的自然光几乎都来源于太阳。其中有的是直射的日光，有的是由月亮、云层或地面的物体所反射的光。天空之所以呈蓝色，是因为日光在经过大气层时变更其方向所致。

由太阳所辐射的能量发源于它的内部。在太阳内部极高温（在一千万到两千万度之间）的作用下，物质被转化为能量。这个情况发生在当质子（氢原子核）互相反应而形成 α 粒子（氦原子核）和荷正电的 β 粒子（正电子）之时。

整个的反应过程可写作：



所形成的 α 和 β 粒子的质量只及所耗掉的质子的99.3%，剩下的0.7%都被转化为能量。事实上这个反应还分成好几个步骤进行，而且平均起来，要费好几百万年才能完成。所产生的能量并不直接表现为光。它的一部分作为所形成的粒子的动能（不规则的运动，等于热能）而释放出来，但是大部分的能量都以能量非常高的光子而出现，相当于波长极短

的辐射，即所谓 γ 射线。每个 γ 光子的能量要比一般光的光子的大一百万倍左右。每个高能量的 γ 光子，在朝着太阳的表面发射时，经过各种各样的过程，被分成为许多能量低得多的光子。因此当它达到太阳表面时，这种分化现象已进行到如此程度，使各种可见光得以产生。此时，原来的每个光子都已分成为大约一千个能量较小的光子。

光的吸收

一个分子里的电子所处的轨道可能因分子的能态的不同而异。在室温或较低的温度下，大多数的分子把它们的大部分时间消磨在具有最低能量的电子态中，也就是“基态”之中。分子可以通过吸收有足够能量的光子（如紫外或可见光的光子）而获得能量，转变成具有较高能量的受激态中。光子被吸收后，就不再存在。但电子能量的增加只能按一定的阶梯进行，这是因为电子所能处的轨道只有一定的几个级层。不过，当光子的能量并不恰巧等于分子中的电子能级差时，仍然可以被吸收。这是因为光子的部分能量还可以转变成为其它的能，例如原子核的振动能，最终被分布到其它的分子中去成为热能。一个分子是否会吸收一个入射的光子，其可能性在很大程度上视光子的能量而定。当光子的能量略微比受激态与基态之间的差额大一点时，它被吸收的可能性为最大。但是，生物学家通常并不为吸收的可能性如何随光子能量而变的情况去操心作图。他们所作的图是表示吸收的程

度（吸收率）如何随波长而变的情况。这实际上是一桩事的两种作法。一种物体的样品使通过它的光线减弱的能力是与其中的光子被样品中某些分子所吸收的可能性成正比例的。上面讲过，光的波长却又与光子能量成反比（第4页）。

上述类型的图解称为吸收光谱。吸收光谱跟物体的颜色有密切的关系，因为只有那些未被吸收的光才能到达眼睛从而产生视觉。例如在图2中示出了一片菠菜叶子的吸收光谱。显然在光谱中最少吸收的是远红光（波长约720毫微米）和绿光（波长约520—580毫微米）。我们的眼睛对远红光不

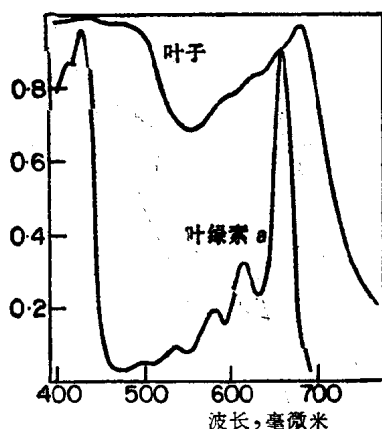


图2 一片菠菜叶子以及溶在乙醚中的叶绿素a的吸收光谱。纵坐标代表没有穿过叶子或溶液的光的部分（也就是给定波长的光被吸收或被反射的部分）。叶子的曲线在大约680毫微米处有个高峰，是因为它含有叶绿素a的成份之故。请注意此峰的波长比在溶液中的叶绿素a的对应值略长。为了强调叶绿素a的曲线，使其峰、谷更为清晰，测量是在很稀的溶液中的进行的，这样使曲线的纵向图形得以拉开。叶子的光谱由高登堡大学的埃格纳（Egneus）博士所制

十分敏感，因而见到的是绿色的叶子。

在菠菜叶子中有好多种带颜色的物质（色素）都能吸收光线，从而导致颜色的形成。不难把它们提取分离出来，分别测量它们的吸收性质。用这种方法就有可能至少是近似地去确定出每种色素对活叶的吸收起着什么作用。困难在于每种化合物从细胞里的自然环境中分离出来后，吸收光谱就要略微起些变化。就分子的能量关系来说，在它们处于溶液中的游离状态时，与在跟其它分子以某种方式联结排列时并不完全相同。

植物叶子中最重要的色素是叶绿素a。在图2中也标示出叶绿素a以纯净的形式溶于乙醚中时的吸收光谱的模样。在叶子与溶液的曲线之间的不符之处，不光是由于在溶液中缺乏叶子中的其它色素所致。叶绿素a本身在叶中与在溶液中的吸收光谱也并不完全相同，其原因部分地是由于它在叶中是与蛋白质相结合的。此外，全部的叶绿素分子并不以完全相同的方式与蛋白质相结合，也并不都跟某一种蛋白质相结合。由此之故，不同的叶绿素分子产生了一系列不同的吸收光谱。这些叶绿素光谱以及其它叶色素的吸收光谱的汇总，才构成了整片叶子的吸收光谱。对于以上事实需有透彻的知识，才能明白叶子对光线吸收的概念。关于这个题目在第二章中还有更多的介绍。结合于不同蛋白质上的同样色素分子的吸收光谱间的差异，对我们的眼睛功能以及我们感受颜色的能力也很重要。这个问题在第四章里将展开讨论。

光 化 学 反 应

在光化学反应中的第一步总是光的吸收。所以，只有那些经吸收的光子才能对反应有影响。这条规则（Grotthus-Draper定律）似乎不言自明。不过可以把它作为推导的起点，借以对各种光化学的和光生物的过程提供有价值的资料。

Grotthus-Draper定律的最重要应用之一就是作用光谱的测量以及用它们来决定是哪些种类的分子吸收了在各种过程中生效的光子。作用光谱是一张表示波长（或频率）和光化学（或生物）效应之间的关系图。这种有效物质所吸收的光越多，光的效应也就越大。因此，作用光谱往往跟有效物质的吸收光谱相象。通过对某过程的作用光谱与各种物质的吸收光谱间的比较，有时就可能确定出哪种物质就是该过程的有效吸收物。

以上所说的不妨举一个例子作进一步的说明：图43A示出了人类视网膜在弱光下的相对光谱敏感性，即对光在眼球外部的吸收作过校正后的弱光视觉的作用光谱。在同图上还作出了一种从视网膜分离出来的物质（视紫红质）的吸收光谱。从这两条曲线间的相似性，就可以得出结论：在弱光视觉中有效的光线吸收物是视紫红质（参见第116页）。

跟Grotthus-Draper定律同样重要的是Einstein定律，即光化学当量定律。这项定律所说的是在任何初级光化学反应中每个光子不多不少地只和一个分子（或离子或原