

光生物学

K. C. 史密斯 编

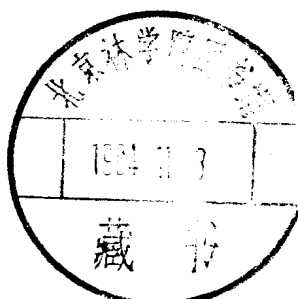


科学出版社

光 生 物 学

K. C. 史密斯 编

沈 恂 等 译



北林图 A00061324

328468

科 学 出 版 社

1 9 8 4

内 容 简 介

本书是介绍光与生物相互关系的一本综合性参考书。它概述了光生物学领域有关重要问题,并引用大量实验说明光与人类目前和将来可能出现的问题的关系。

全书共十五章,分别介绍:光技术与生物实验;光谱学;光化学;光敏化作用;紫外线辐射对分子和细胞的效应;环境光生物学;光医学;生物钟特性;网膜外的光感受;视觉;光形态建成;光运动;光合作用;生物发光以及光生物学研究的新课题。

供从事光生物学、光医学方面工作的科研工作者及有关专业大学生参考。

Edited by Kendric C. Smith

THE SCIENCE OF PHOTOBIOLOGY

Plenum Press, 1977

光 生 物 学

K. C. 史密斯 编

沈 恂 等 译

责任编辑 王爱琳

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1984 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1984 年 3 月第一次印刷 印张: 17 1/4

印数: 0001—4,800 字数: 396,000

统一书号: 13031·2521

本社书号: 3460·13-10

定 价: 2.70 元

译 者 的 话

光是地球上一切生命的能量来源，它是世上一切生物赖以生存的环境中最重要的因素之一。生命的起源和进化离不开光，生物的结构与功能也受到光的强烈影响。光与人类的关系更为密切，视觉离不开光，而人从周围环境中所获信息的绝大部分来自于视觉器官。紫外线可以引起皮肤癌，但光也可以用来治疗肿瘤，肿瘤的研究从光生物学中吸取了很多养分。

光生物学是研究光与生物相互关系的科学，它是一门正在发展的生气勃勃的学科，也是生物物理学的一个重要方面。光生物学在我国还是一门不为很多人了解的学科，除了光合作用和视觉等少数几个分支外，还没有一本完整的介绍光生物学全貌的书，翻译这本书正是为了弥补这个不足。这本书是 1977 年年底问世的，它是世界上第一本系统地介绍光生物学各个分支领域的比较全面的书，各章的作者都是各个分支领域里的权威学者，我们希望这本书的翻译出版将对推动我国光生物学的研究和应用起到一点微薄的作用。

这是一本教课书，除了可供高年级大学生和研究生作为入门的向导外，对大学教师、生物物理学工作者以及从事生物学、医学、环境科学和光化学的其它科学工作者也有一定的参考价值。全书共分 15 章，除最后一章是对光生物学的发展远景和新课题的展望外，其余各章均是阐述光生物学的一个专门分支。

参加本书翻译工作的同志有：沈恂、郭绳武、聂玉生、刁

云程、庞素珍和张茵,全书最后由沈恂同志审校。由于译者水平所限,错误和不妥之处在所难免,欢迎读者批评指正。

译 者

1982.5.30.

前 言

虽然在光生物学的少数几个专门领域有几本很好的书，但是目前还没有一本论及光生物科学所有领域的书，这本书则打算填补这个空白。美洲光生物学学会目前把光生物学划分为 14 个分支领域，本书的前 14 章就是针对这 14 个分支领域的，各章均由该分支领域的权威学者撰写。第 15 章冠以标题“光生物学的新课题”，着重阐述一些也许会在将来成为光生物学分支的研究领域。

这本书是作为一本教课书写的，为的是向高年级大学生和研究生介绍光生物学这门科学，每一章都对一个课题作了内容广泛的介绍，每一章所包含的内容都可以在 1 至 2 小时的综合性讲座里教授给学生，书中的参考文献不是应有尽有，而是开列那些关键性的部分，以帮助学生查阅有关文献资料。书中往往比较多地引用较新的综述性参考文献，而不是引用那些作出原始发现的作者们的第一篇论文。为了以实例说明一章的一个或几个要点，每一章均附供学生实践的课堂演示和实验室练习。这本书并不就是这个领域的研究工作者可以汲取的知识宝库，确切地说，它只想阐述光生物学的每一个专门领域的重要性，并用大量材料说明它们与人类的眼前和长远问题的关系。

在温度（极地和沙漠）、压力（深海潜水和宇宙飞行）和重力（宇宙飞行）对人的生理功能的影响方面，人们已经作了大量的研究，但是时至今日，在研究光对人的影响方面所做的努力仍然很少，然而，光却是我们环境中最重要的因素之一。

作者希望这本书将能作为光生物学入门学习的基本教材，希望它能起到鼓励大学生们跨进光生物学领域的作用。我们还期待这本书将会使光生物学领域外的科学工作者和一切想了解这门学科的外行们产生兴趣，因为甚至对于一般的公众也越来越懂得：无论是自然界的光还是人工的光，它们对人类都有着重大的影响，而决非只是帮助视觉。看来，光生物学作为一门主要学科的时代已经来到了。

K.C.史密斯

1977年9月

目 录

第 1 章	光技术和生物学实验·····	1
第 2 章	光谱学·····	34
第 3 章	光化学·····	77
第 4 章	光敏化作用·····	105
第 5 章	紫外线对分子和细胞的效应·····	136
第 6 章	环境光生物学·····	175
第 7 章	光医学·····	213
第 8 章	生物钟学(近昼夜节律)·····	253
第 9 章	网膜外的光感受·····	274
第 10 章	视觉·····	291
第 11 章	光形态建成·····	338
第 12 章	光运动·····	377
第 13 章	光合作用·····	398
第 14 章	生物发光·····	447
第 15 章	光生物学的新课题·····	479
索引·····		504
参考文献·····		519

第1章 光技术和生物学实验

John Jagger

(得克萨斯大学生物系)

1.1	序言	2
1.2	光源的选择	4
1.2.1	可见辐射	4
1.2.2	近紫外辐射	11
1.2.3	远紫外辐射	13
1.2.4	危害性	13
1.3	光谱输出的窄化	14
1.3.1	单色光源	14
1.3.2	滤光片	15
1.3.3	单色仪	18
1.4	辐射能量的测量	20
1.4.1	名词术语	20
1.4.2	热电堆	21
1.4.3	光电器件	22
1.4.4	化学测量系统(光化计)和生物测量系统	23
1.4.5	一个细胞所“看到的”注量	25
1.5	实验方法	26
1.5.1	样品的吸收	26
1.5.2	存活曲线	28
1.5.3	紫外恢复现象	30
1.5.4	作用光谱	32

1.1 序 言

很多光生物学实验可以用十分简单而便宜的设备来做，但是实验者常常发现，在他们完成开头的“粗糙的”实验以后，他一定会越来越关注诸如不同波长的相对效率和所需的准确能量这样的细节。因此，既需要简单的又需要复杂的装置。人们往往采取折衷的方案，只使用那些从实验的可靠性考虑是必不可少的复杂设备。

当然，所用仪器设备的选择取决于问题的性质，如果我们记住下述有关光生物学(不同于光化学或光物理)实验的一般要求，那么在各种各样现有仪器设备中决定取舍时便可以避免许多麻烦和浪费。这些一般要求是：①往往需要高强度的光；②一般不要求很窄的带宽(即不要求很高的单色性)；③通常不要求照射时间比几秒钟更短。因此，在光生物学(与光化学相反)工作中往往不需要单色性特别高的激光器和特别短脉冲(毫微秒范围)的脉冲激光器。

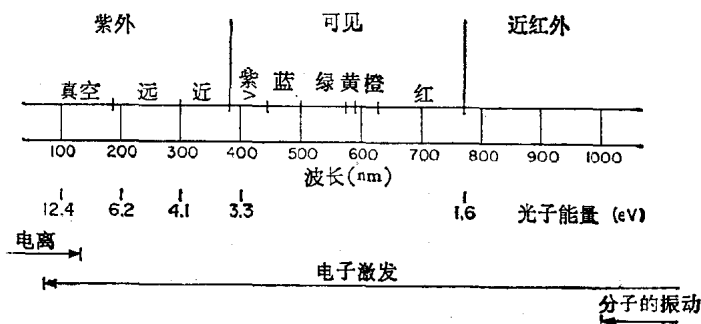


图 1-1 电磁辐射谱的紫外、可见和近红外区，光谱的下方指出在各个区间发生的主要物理事件，如图所示，这些区域的边界并非截然分明。此外，任何光子都能引起一般来讲与能量比它低的光子相联系的事件。

表 1-1 国际单位制 (简称 SI)^a

名 称	代 号	名 称	代 号
安 培	A	勒 克 斯	lx
卡 路 里	cal	米	m
坎 德 拉	cd	毫 克	mg
库 仑	C	兆电子伏	MeV
居 里	Ci	分	min
摄 氏 度	°C	摩 尔	mol
开尔文度	K	纳 米	nm
角 度	°	牛 顿	N
电 子 伏	eV	欧 姆	Ω
尔 格	erg	欧姆·厘米	$\Omega \cdot \text{cm}$
法 拉	F	百万分之一	ppm
高 斯	G	百 分 比	%
克	g	弧 度	rad
亨 利	H	伦 琴	R
赫 兹	Hz	秒	s
小 时	h	球 面 度	sr
焦 耳	J	特 斯 拉	T
千 克	kg	托	Torr
兰 伯 特	L	伏 特	V
升	liter	瓦	W
流 明	lm	韦 伯	Wb

a. 以人名命名的单位不大写,除非在缩写时,所有缩写字既代表复合形式也代表单一形式的单位。

首先要说明几个习惯上的规定,图 1-1 表示了在紫外(UV)、可见和近红外区域光的波长、能量和颜色,为叙述本章起见,我们认为远紫外辐射处于 210—300nm 范围,而近紫外辐射落在 300—380nm,我们将不考虑真空紫外区或近红外区。有时用“半高宽”(峰值强度一半处的带宽)表征辐射的带宽,在讨论滤光片或者当透射曲线具有高斯形状时,经常是这样表示的。有时用“全宽度”(峰值强度 1% 处的带宽)表征辐射的带宽,这种情况经常出现在讨论染料激光器的输出或是单色仪输出的整个波长域的时候。最后,我们将用 SI 单位(国际制单位)表示光谱的能量和功率(表 1-1)。

1.2 光源的选择

1.2.1 可见辐射

太阳和高瓦数白炽灯二者都是很好的可见辐射光源,但是它们都不大适合于实验工作,这是因为地球表面上的太阳辐射变化很大,且难于引进实验室。此外,阳光和白炽光源都产生太多的不希望的热和红外辐射。

白炽灯仍然在某些情况下使用,特别是在植物研究工作方面。图 1-2 给出地球表面上的太阳辐射的光谱、正常人的视觉敏感光谱(它定义了可见光)和色温为 3475K 的超压强烈溢光灯的发射谱(灯的光谱由它的灯丝温度决定),由于白炽灯产生的热太多,所以它们经常与吸热滤片一起使用,例如 10% 的硫酸铜溶液用作滤片(参阅 1.3.2)。一种特别有用的白炽灯是通用电气公司的有色(两色的)聚光灯,这种灯制造时就在其透镜里放有一块干涉滤光片,它们发出相当窄的光谱(半高宽为 50—80nm),但在红外波段仍有发射,这种灯分五种颜色,对廉价获得不精确的作用光谱来说是很有用的。



北林图 A00061324

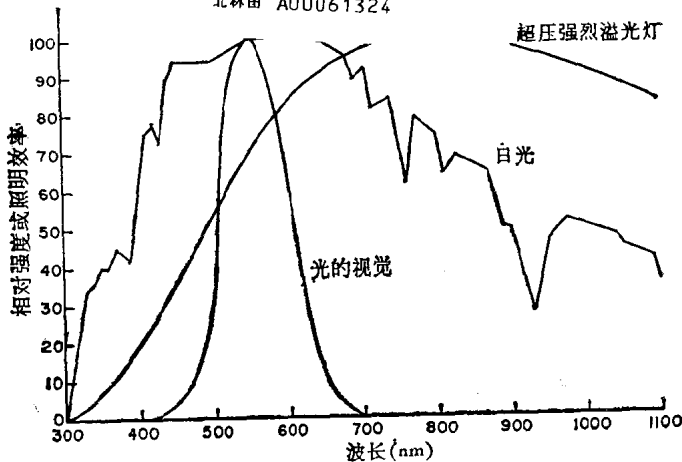


图 1-2 几种光谱: (a) 地球表面上垂直入射的日光, 红区和红外区的减弱是由于水蒸气的吸收 [300–600 nm 区引自: R. D. Cadle and E. R. Allen, *Science* **167**, 243–249 (1970); 650–1100 nm 区引自: R. B. Withrow and A. P. Withrow, chap. 3 in *Radiation Biology*, Vol. III (A. Hollaender, ed.), McGraw-Hill, New York (1956)]. (b) 250 W 超压强烈溢光灯 (色温 3475 K) [引自: R. B. Withrow and A. P. Withrow, Chap. 3 in *Radiation Biology*, Vol. III (A. Hollaender, ed.), McGraw-Hill, New York (1956)]. (c) 人的平均视觉敏感度。

荧光灯是光生物学工作最有用的可见光源, 它们具有相对来讲较高的强度¹⁾, 但发热却较少, 它们不是非常亮, 但代之而有的优点是可以照射很大的面积。荧光灯是工作在低气压下(几毫米汞气, 其中含有 10^{-3} mm 的水银蒸气)的水银放电灯, 电子从热灯丝发出并产生水银正离子, 或通过碰撞使汞原子激发, 汞原子中的激发电子再损失能量而处于较低的亚稳态(三线态), 汞原子由这种三线态返回基态时发出 254 nm 的辐射。由于汞蒸气气压低, 所以这种辐射能达到灯管的表面。图 1-3 c 表明, 荧光灯发射总能量的 85% 左右属于 254

1) 关于光度学和辐射度学的名词术语, 请参阅 1.4.1 和参考文献 1 的附录 C。

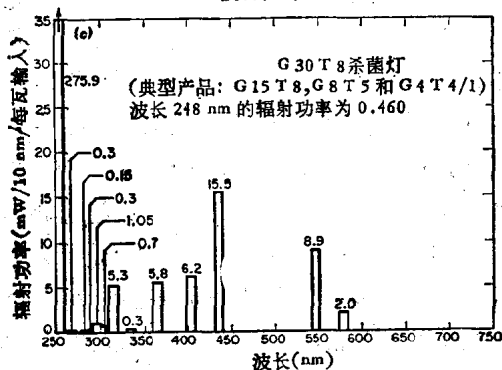
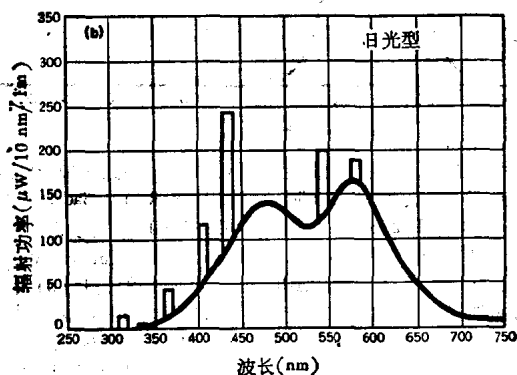
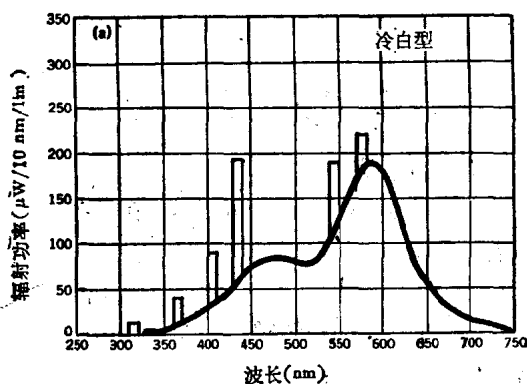


图1-3 (a) 40WT 12 “冷白” 荧光灯; (b) 40WT 12 “日光” 荧光灯和 (c) 30WT 8 杀菌灯点燃 100 h 后的发射光谱。可以看到, 在所有三个谱中 300nm 以上的区域都出现相同的汞线。对杀菌灯, 254nm 的光辐射占全部辐射功率的 85% 左右, 但该比例将随灯龄而减小, 并随镇流器温度的提高而减小。

nm 波长,而少量辐射的波长比 254 nm 长,总能量中那 15% 的辐射代表了高能级到亚稳态的跃迁。在杀菌灯中,所有这些辐射都能射出荧光灯管,而在荧光灯中,涂在灯管内壁上的磷光物质(例如磷酸钙)吸收了远紫外辐射而重新发出连续平坦的可见荧光,因此,荧光灯(图 1-3 a, b)的输出由这种荧光连续谱叠加在长波长的汞线上构成。荧光灯外壳由玻璃制成,玻璃将吸收剩余的远紫外辐射,并减弱荧光紫外成分的强度。

三家主要的美国公司(通用电气、GTE-席尔伐尼亚,西屋)生产的这类型式的荧光灯(例如“日光”型,“冷-白”型)实际上是相同的,图 1-4 表明,可以得到具有不同光谱特性的荧光灯,当人们希望避免特定波长的光时,这些荧光灯中的某些对一般的室内照明是有用的[例如,用金荧光灯防止细菌的光复活(参阅 1.5.3 和 5.4.2),这种细菌的光复活仅仅发生在 500 nm 以下]。对植物生长有最佳输出的荧光灯由几家公司生产(图 1-5)。

必须认识到各种“白色”荧光灯的光谱输出可能有很大的区别,因此,“日光”型灯的发射谱与“冷白”型灯的发射谱是相当不同的(见图 1-3)。

杀菌灯和荧光灯有各种形状和大小,15W 的尺寸用在一般的台灯架里较方便,这种灯需要一个变压器-镇流器和一个启动器,两者常常装在灯架里面。

杀菌灯和荧光灯的输出在头 100 h 燃点时变化很大,用前应对灯进行“老化”100 h,其次,在点燃的头几分钟输出变化很大,故而在使用前应对灯“预热”约 10 分钟。灯的输出随灯的温度明显改变,而灯的温度又受限制灯光方向的灯罩离它远近的影响,没有任何通风的有罩的灯将工作在较高的温度下,其输出将较低,并且灯的发射谱将位移。

荧光灯变通性大、稳定、价廉并易于使用,它们显然是可

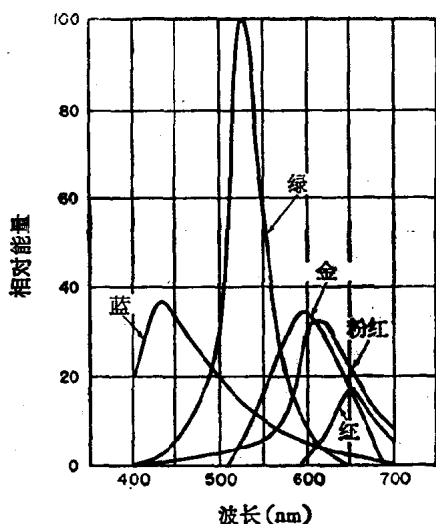


图 1-4 相同瓦数的各种有色荧光灯的光谱输出,汞的谱线未画。

供选择的工作在可见光区的光源。但是,对某些应用来讲,需要更亮的光源,于是人们往往转向高压氙弧灯或高压水银弧光灯,但这些光源和它们的电源较贵,并且在使用中可能有一定的危险(参阅 1.2.4)。

高压氙弧灯是最有用的高强度可见光源,一般来说,发光电弧本身只有 1mm 宽 3mm 高,它实际上是个点光源。这种光源非常稳定,其寿命达 1000 h,它在可见光区域有着几乎不变的发射谱,只是在 400—500nm 附近有几个小峰(图 1-6)。

高压水银弧光灯不象氙灯,它产生一个在可见区的分立谱,该分立谱又叠加在一个较弱的连续谱上(图 1-6)。由于气体压力高(约 100 大气压),致使 254nm 的谱线被全部吸收,而在该波长上留下一个暗区,但在汞的任何其它发射波长

处并非如此。当人们希望得到高强度单色光而又不太讲究要用严格一定的波长时,这种光源配合干涉滤光片或单色仪是很有用的。由于实际上只有四条主要的汞线在 380nm 以上,因而限制了这种水银弧光灯作为可见光源的价值。高压水银弧光灯比氙弧灯难用,它们比较不稳定,并且由于水银通常装在一根 $2 \times 12\text{mm}$ 的毛细管中,因而在每次点燃前必须小心调整水银的分布。另一个麻烦之处是水银弧光灯通常是水冷的,而氙弧灯是空气冷却的。高压水银弧光灯的寿命平均约 100 h,但也可能用到 200 h 或者寿命短到零(即这种灯可能完全不亮)。尽管有这些不大不小的缺点,这种灯仍然相当广泛地应用着,非利浦公司生产最好用的光源,并供应合适的水套和电源,Oriel 公司提供各种灯室,这些灯室可以包括一套聚光透镜(参阅参考文献 6)。

中压水银弧光灯给出一个分立谱线的光谱,它在紫外和可见区都无连续谱。它们主要和单色仪一起使用,但强度比用高压光源所得到的强度低得多,对紫外工作有利的一点是它们同时给出 254nm 谱线和其它谱线。给出较大面积光源的中压水银蒸气灯可以从 Hanovia 公司获得,它们可用来作为浸没式光源照射化学溶液和细胞悬液(仍参阅参考文献 6)。

有人^[7]已经描述过一种金属蒸气弧光灯,它给出非常高强度的光,而其光谱则类似于太阳的光谱。

单独的激光器对于大多数可见光区域的光生物学工作并非很有用(与光化学工作相反),然而,可用闪光灯或者另一个激光器激励的染料激光器却越来越流行起来,这种激光器激发各种染料(例如噁嗪、黄嘌呤素或香豆素)而发出某种单一波长(线宽 $\sim 0.1\text{nm}$)的荧光。对远紫外染料,一种染料所发的激光可以在 10nm 带宽上“调谐”,对近紫外染料,这种“调谐”