

生物科学摄影基础

生物科学摄影基础

SHENGWU KEXUE SHEYING JICHU

王伯扬 编

人民教育出版社

内 容 提 要

本书简明扼要而又比较系统地介绍了摄影的基本理论,在此基础上着重地介绍了生物科学摄影的技术和方法。语言简练,容易掌握。可供综合性大学、师范院校和医学院等有关师生参考,也可供科学工作者参考。

生物科学摄影基础

SHENGWU KEXUE SHEYING JICHU

王 伯 扬 编

人民教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 6 4/16 字数 150,000

1980年7月第1版 1981年4月第1次印刷

印数 00,001—12,000

书号 13012·0505 定价 0.56 元

编 者 的 话

近几年来,在生物科学中越来越多地应用摄影技术,记录所观察到的现象与实验结果,代替过去的描述记录方法。因为它不仅具有迅速而正确的特点,并且能记录到许多用描述方法无法记录到的特殊现象。因此,目前生物系各专业的学生,都要求了解一些有关摄影基础知识。但是,目前缺乏有关的教材或参考书,为此,我们编写了这本讲义,供有关教师与学生参考。

摄影是一门科学,涉及的基础理论相当广泛。但是从应用的角度来说,它也是一种方法与技术。它应用于各种科学研究中,应该称为“科学摄影”。本书所讲的,仅限于在生物科学中的应用,即“生物科学摄影”,适用于生物系学生或有关生物科学工作者参考。

即使这样,所占篇幅也已不小。我们曾在一个专题讨论班中进行试教,总共需 90 小时,课堂理论讲授与实习的时间比例约为 1:2。即课堂讲授 30 小时,实习 60 小时。因此,在一般情况下,本讲义不宜作为教材使用,仅供学生参考。

为了便于学生进一步自学钻研,在书后附有英中名词对照表,兼作“索引”,供学生查阅。

本书是在二次内部试用讲义的基础上补充修改而成的。第二次内部试用讲义,承上海科教电影制片厂高礼吾同志与复旦大学郑北渭同志审阅,并提出宝贵的意见。在修改过程中,又得到复旦大学谢恩光、夏元敏、傅文瑜、郑沛玲等同志的支持和协助。本书的初稿完成后,又承上海科教电影制片厂方书高同志详尽地审阅、

修改，并提出许多宝贵意见。编者对他们表示衷心的感谢。但由于编者知识水平有限，仍不免有许多缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

1978年10月于复旦大学

目 录

编者的话	1
第 一 章 生物科学中常用的各种摄影方法与基本原理	1
第 二 章 光与透镜	5
一、光的性质	5
二、透镜的象差	6
三、透镜的象散与孔径	8
四、透镜的放大率与分辨率	9
五、透镜的景深与焦深	10
六、复合透镜的对称性	12
第 三 章 照相机及常用附件	14
一、照相机的种类	14
二、照相机的主要部件及常用附件	19
三、辅助镜头与附加透镜	26
四、其他常用附件	28
第 四 章 底片	31
一、底片的包装形式	31
二、感光物质的感色性	33
三、底片的感光速度	35
四、底片的特性曲线	38
五、银粒的粗细与分辨率	39
六、怎样选用底片	40
第 五 章 滤色镜	41

一、滤色镜的作用	41
二、怎样决定应增加的曝光量	41
三、怎样选用滤色镜	43
第 六 章 普通摄影方法	47
一、野外摄影	47
二、室内摄影	54
第 七 章 小物体摄影	58
一、近摄法	58
二、远摄法	64
三、照明与曝光	66
四、其他注意事项	67
第 八 章 显微摄影	69
一、显微镜的基本结构与作用原理	69
二、分辨率原理	76
三、照明	82
四、显微摄影装置	91
五、曝光时间的决定	102
六、放大倍数的测定	107
七、其他注意事项	109
第 九 章 放大摄影	111
一、放大摄影用的镜头	111
二、放大倍数与象距	115
三、分辨率与孔径	116
四、景深	118
五、照明与曝光	119
第 十 章 特殊摄影	124
一、示波器摄影	124

二、翻拍	126
三、闪光摄影	127
四、暗视野照明	129
五、萤光显微术	133
六、相差显微术	135
第十一章 暗室工作	144
一、显影药液	144
二、底片冲洗方法	148
三、印相	155
四、放大	158
第十二章 彩色摄影	161
一、光和色	161
二、光源、色温与滤色片	163
三、彩色感光底片的构造、种类与性质	164
四、彩色感光底片的冲洗	167
五、彩色照片的放大	176
六、配方、冲洗、放大过程中的注意事项	179
英中名词对照表(兼索引)	181

第一章 生物科学中常用的各种 摄影方法与基本原理

在生物科学中,应用摄影方法非常广泛。从拍摄对象的大小来说,大的可高达几十米,如一棵大树,小的可小到肉眼无法分辨。从远近来说,远的可离相机几十米甚至近百米,近的离镜头还不到一毫米。如果以拍摄对象的远近与大小及与成像大小的关系来区分,那么可分以下几种:

(1) 普通摄影:是指应用一般相机就能拍摄的,拍摄对象离相机在无穷远处到1米(左右)之间。例如拍摄一般的生物生态。

(2) 小物体摄影:物体离相机在1米(左右)以内,但物体大于物象,或两者相等。除应用相机外,必须另加附件才能拍摄。例如拍摄生物的某一器官或示波器上显示的图形等。

(3) 放大摄影:物体极近相机,物象大于物体(放大1—10倍左右),必须用特殊镜头及装置拍摄。例如拍摄种子或卵等。

(4) 显微摄影:物象比物体放大10倍以上,必须用复式显微镜及附加装置拍摄。例如拍摄组织,细胞的结构等。

当然,在它们之间,并不存在明确的界限,这种分法仅仅是为了说明方便起见而已。然而,各种称呼之间,常常发生混淆,例如,显微摄影,应该是指应用摄影技术,拍摄显微镜中所观察到的物象而言,而有时往往与缩微摄影相混淆,因为显微摄影的英文是photomicrography,是由photography(照相)与micrography(由描图器画成放大象)两字合成的。而缩微摄影的英文是microphoto-

graphy。意思是微小的摄影,也就是用照相技术把物象缩得很小,因为小得不能用肉眼看清楚,所以也借助显微镜。但从物体与物象的大小比例来说,却与显微摄影完全相反。因此,不能认为,应用显微镜照相,就是显微摄影。至于英文中的 photomicrography,是指放大摄影而言。

无论那一种摄影方法,都必需一个镜头或者一架显微镜。通过显微镜可以拍摄物象,其基本原理,正是因为显微镜可以起着与相机镜头同样的作用,两者同样依照对物体产生物象的光学原理。由于两者非常相似,所以很难对各种摄影方法作一个严格的分界,仅是在装置方法上,有其不同的地方。因此,在讨论显微摄影及其他摄影方法的光学原理之前,先从普通摄影的一般情况讲起,从而说明它们之间的相互关系,是有方便之处的。

照相机的镜头,可以看成是一个凸透镜,即中间厚、边缘薄的透镜。现代所用的都是复合透镜,是由许多凹凸不同的透镜组合而成的,而其基本作用,却仍与单透镜一样,也就是从物体上反射过来的光线,通过它,在它的另一面,产生物象。

从远处的物体反射来的光线,通过镜头,在其另一边成象的平面,称镜头的焦面。焦面与镜头的主轴(通过透镜的两个球面的曲率中心的直线)的交点称为焦点。焦点与透镜中心之间的距离称为焦距。实际上,透镜的两边各有一个焦点,称共轭焦点。这两个共轭焦点是互相关连的,也就是物体和物象的相对位置,并且可以互换的。就是,当物象的位置上换成物体时,原来物体的位置上必然是物象。这就是“共轭焦点”。从无穷远射来的光聚成的焦点称主焦点,所以主焦点的共轭焦点在无穷远处;当光源渐渐趋近透镜时,相应的共轭焦点就往后退。

物体的大小对物象的大小的比例,与物体到透镜的距离对透镜到物象的距离的比例一样。即:

$$\frac{\text{物体(尺寸)}}{\text{物象(尺寸)}} = \frac{\text{物距(尺寸)}}{\text{象距(尺寸)}} \quad (1.1)$$

当物体在无穷远处时,物象在主焦面上,物体趋近透镜时,物象就从主焦点(主焦面)后退,即物距减小而象距增大,因此,物体与物象的比例也就相应地改变(减小)了。也就是物象与物体的比例增大了。在应用一般相机摄影时,必须对焦,物体愈近,镜头就愈要往前移,即增加象距,就是这个道理。这就是“普通摄影”。

当物体继续移近到一定距离时,物象平面后退到某一点上,此点与透镜中心的距离与物体到透镜中心的距离相等,可以发现,这距离正好是主焦距的两倍,这时物象与物体的大小正好相等。一般的相机,不可能拍摄这样大的物象,因为它没有这样长的皮腔,而只能拍摄一米左右以外的物体。所以如果要拍摄这样大的物象,就必须有特殊的附件,能使镜头与底片之间的距离(象距)继续加长才行,这就是“近摄法”,或“小物体摄影法”。

如果皮腔允许继续伸长(超过主焦距的两倍),那么,物体可以继续趋近镜头,而物象将继续后退,物象与物体的比例也就继续改变,物象将大于物体,摄影镜头就起了放大镜头的作用,可以产生放大几倍的物象。这就是“放大摄影”。

至此,已经可以看出一般相机上的镜头与显微镜很相似了。但是,是否可以继续拉长皮腔而达到高倍放大的要求呢?事实上是不行的,让我们举个例子来说明:

假定利用一只焦距为 10 厘米的镜头,当它拍摄与物体同样大小的物象时,皮腔要有 20 厘米长,如果要作放大摄影用,皮腔将更长才行。如果改用一只焦距为 5 厘米的镜头,那么,只要用 10 厘米长的皮腔,就能拍摄与物体同样大小的物象。由此可见,用同样长度的皮腔,利用的镜头的焦距愈短,就愈能得到放大倍数较大的

物象。所以,使用短焦距镜头,成为放大摄影的方法之一。

然而,仅仅依靠缩短焦距,仍不能满足较大的放大倍数的要求的。这里,除皮腔不可能太长之外,还涉及一些光学原理上的问题,所以必须应用复式显微镜进行摄影,这就是“显微摄影”。

第二章 光 与 透 镜

一、光的性质

现在光学上有两种理论说明光的性质,一种是波动理论,一种是量子微粒理论。按照波动理论,光是一种电磁波,沿直线行进,速度很高,每秒钟约行进 30 万公里。

光波的波峰与波峰之间的距离称波长,以毫微米(nm, 即 10^{-9} 米)或埃($\text{\AA}$, 即 10^{-10} 米)为单位计算。不同波长的光呈现不同的颜色,人眼所能见的光的波长约在 400—700 毫微米之间,其中红光波长最长,紫光最短。大致如下:

表 2-1 色光和它们的波长

色 光	波 长 (nm)
红外线(不可见)	>700
红	630—700
橙	590—630
黄	550—590
绿	490—550
青	460—490
蓝	430—460
紫	400—430
紫外光(不可见)	<400

从光源发出来的光,投射到物体上,就发生反射,我们肉眼所

以能看到物体的形状和颜色，就是由于从物体上反射出来的光进入眼球，投射到视网膜上，为视觉细胞所感受。照相的道理也是这样，就是由于从物体上反射出来的光，经过透镜投射到底片上，使底片上的感光物质感光。

如果光线从一种介质进入另一种密度不同的介质，并且投射的方向与介面不是垂直的话，光线行进的方向就会发生偏折，称为折射。密度愈大的介质，折射率也愈高。空气的折射率为 1，水约为 1.33，普通的玻璃约为 1.52。透镜就是利用这种性质制造出来的。

从无穷远处一个小光点发出来的光，以平行的光线投向透镜时，如果这透镜是球形凸面透镜，那么平行的光线将折向主轴，形成小光点的象（焦点），这种现象称为“会聚”作用，所以凸透镜也称“会聚透镜”；如果透镜是球形凹面的，那么，平行的光线将向主轴以外的方向折射，就不能聚焦，这种现象称为“发散”作用。所以凹透镜也称“发散透镜”。

另外，当光线经过一个平齐的黑色边界时，依照光线是以直线方向行进的道理，在黑色边界的后面的影子也应该是平齐的。但事实不然。这说明光线经过平齐的隙缝或圆孔时，会产生曲折回绕作用，即绕过障碍物而产生曲折，这种现象称为“绕射”（衍射）。因此，即使光线通过一个很小的针孔，在它背后所形成的象（针孔象），也不可能是十分清晰的。

二、透镜的象差

光线通过单块玻璃的透镜，所成的象，有所失真。这种失真，称为“象差”。象差种类繁多，主要是球差和色差。

从“无穷远”处的一点光源射来的光线，通过凸透镜（会聚透镜），最理想的情况是集中成一点（象）（图 2-1, A）。但事实上不

是很小的一点。如果用一块圆形的黑纸把凸透镜的中央部分遮起来，只留出边缘部分，然后，通过平行光（从无穷远处一点射来的光），测出其焦距。再用另一块中央开一圆形小孔的黑纸贴在同一凸透镜上，即遮去其边缘而留出其中央部分，同样地测其焦距。那么，可以发现：前者的焦距比后者短，这就说明：光线通过透镜的边缘，折射较甚，因此由边缘部分所集成的象，要比中央部分集成的象，更靠近透镜一些（图 2·1, B）。这种效应是由于透镜的表面好比球面的一部分所致，所以称为球面差，或球差。当物体不是一点而是相当大的一个体积时，实际形成的象，可以看成是无数个光点所组成，在存在球差的情况下，也就不可能很清楚了。

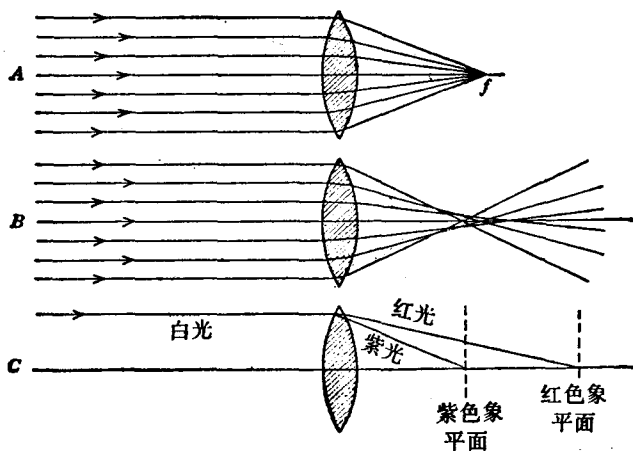


图 2·1 透镜的象差

另一方面，白光的本质，不是单一的光，而是由不同振动频率（或者说，不同波长）的光所组成的。这些不同波长的光，对人眼的作用不同，因此，我们感到有各种颜色。能作用于人眼的全部波长的光，大部分也可以对照相感光物质起反应（但敏感度不完全一样），波长最短的是紫光（波长约 0.4 微米），较长的依次为蓝、绿、

黄、橙,最长的是红光(约0.7微米)。

当一束平行的白光通过透镜时,如果在透镜后面放一个光屏,从远处逐渐向透镜移近,首先可以看到有一个紫色边缘的光斑,随着光屏与透镜之间的距离缩短而逐渐减小,并在光斑中心形成一个红色光点(即红光焦点);后来,再随光屏逐渐移近而红色光点逐渐扩大,形成一个红色边缘的光斑,并在光斑中心形成一个紫色光点(即紫光焦点)(图2·1,C)。由此可见:不同色光的折射率是不相同的,频率愈高,波长愈短,折射率就愈大。紫光比红光折射率大,因此,紫光的焦距比红光短。这就是色差。所以,色差是由于玻璃对不同频率的色光的折射率不同所造成的。

既然一块透镜对不同波长的光的焦距是不相同的,那么,对各种颜色的物体,就不可能同时对准焦距,并且,对各种颜色的象的放大倍数也不可能完全相同,当它们重叠在一起时,也就模糊。

然而各种不同性质的光学玻璃在折射指数与色散方面都是不相同的,因此,可以利用折射率和色散性质不同的玻璃做成会聚透镜(凸透镜)和发散透镜(凹透镜),这两者的折射方向相反,所以球差和色差也相反。如果使两者胶合在一起,经过仔细设计和磨制,就可制成胶合透镜,可以在一定程度上减少球差和色差。

三、透镜的象散与孔径

即使用一个球差和色差想象地完全抵销了的透镜,由于光的衍射现象,对一个理想上是一点的光,所形成的象,也不可能是一个很小的光点,而是一个圆面积,称为分散圈。球差和色差纠正不完全的透镜,这分散圈就更大。

对任何一个透镜,影响分散圈大小的最大因素是所应用的光的波长,波长愈短,分散圈愈小,所以,应用蓝光比应用红光分散圈小。

对透镜本身来说,除纠正象差的程度之外,影响分散圈大小的最大因素是透镜的孔径的大小,孔径愈小则分散圈愈大。反之,则愈小。如图 2·2, 如果图中的两个透镜,其纠正象差能力,焦距等都一样,而B的孔径比A大,则它的分散圈就比A小。

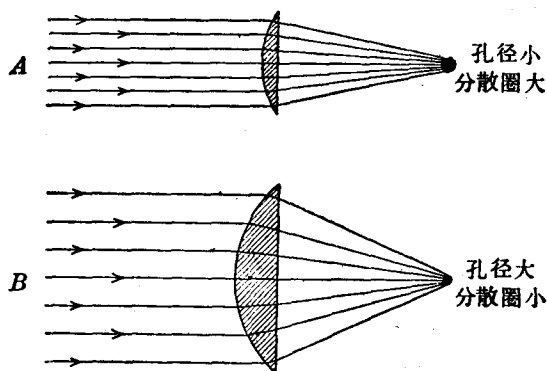


图 2·2 透镜的孔径与分散圈

例如同一只镜头,在应用不同大小的口径(光圈)时,其纠正光差的能力是相同的,但用大光圈时,分散圈小,而用小光圈时,则分散圈大。

普通摄影用的镜头与显微摄影用的镜头(显微镜的物镜),孔径大小的表示方式是不一样的,前者用“ f ”值表示,而后者用“数值孔径(N. A.)”表示。它们所代表的含义以及它们之间的关系,将在下面有关章节中详述。

四、透镜的放大率与分辨率

由于人眼的生理条件所限制,当两个物体(两点)距离很近时,就不能把两个物体(两点)分辨开来了,而会把两点看成为一点,透镜(物镜)也是一样。这种能够分辨两点之间的最短距离的倒数,