



主 编 李玉花  
副主编 张 旻 闫海芳 刘 旻

JIGUANGSHENGWUXUE YUANLIJI ZAI  
ZHIWU YUZHONG ZHONG DE  
YINGYONG

# 激光生物学原理及在 植物育种中的应用



东北林业大学出版社

# 激光生物学原理 及在植物育种中的应用

主 编 李 玉 花

副主编 张 旻 闫海芳 刘 旻

东北林业大学出版社

---

**图书在版编目 (CIP) 数据**

激光生物学原理及在植物育种中的应用/李玉花主编. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2009. 7

ISBN 978 - 7 - 81131 - 507 - 3

I. 激… II. 李… III. 激光生物学—应用—植物育种 IV. S33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 116693 号

---

责任编辑: 姜俊清

封面设计: 彭 宇



NEFUP

**激光生物学原理及在植物育种中的应用**

Jiguangshenwuxue Yuanli Ji Zai Zhiwuyuzhong Zhong De Yingyong

主 编 李玉花

副主编 张 畅 闫海芳 刘 畅

**东北林业大学出版社出版发行**

(哈尔滨市和兴路 26 号)

东 北 林 业 大 学 印 刷 厂 印 装

开本 787 × 960 1/16 印张 8.25 字数 160 千字

2009 年 7 月 第 1 版 2009 年 7 月 第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978 - 7 - 81131 - 507 - 3

定价: 14.00 元

# 前 言

激光是20世纪60年代出现的最重大科学技术成就之一。它是以原子物理、量子理论光学技术和电子技术为基础的多学科技术。激光的出现,标志着人们掌握和应用光学进入了一个新的阶段,深化了人们对光的认识,扩展了光为人类服务的天地。

激光和普通光源发出的光来比较,它具备了几个极有价值的特点——高亮度性、高方向性、高单色性、高干涉性,正是由于这些特性,使激光发挥着多方面巨大的作用。在这几十年中,工农业生产、科研、医疗卫生、国防等方面都已广泛应用。例如,工业上用它进行高熔点金属的切割与焊接,化学纤维工业喷丝头的打孔、激光测距与测径;在医学方面出现了可以解除病人痛苦的新手术,如用红宝石激光器焊接视网膜脱落,用二氧化碳激光手术刀切除肿瘤。其作用时间短,而且病人不易感染;在军事技术方面,出现了激光导航、激光雷达等;在摄影方面发展了一套新型的照相技术——全息照相,利用这种技术能够获得立体感很强的立体电影、立体电视;在农业上,应用激光育种、刺激增产、除草杀虫等,特别是应用激光的热效应、光效应、压力效应和电磁场效应对植物的育种工作已经取得了长足的进展。

激光是基于受激发射放大原理而产生的一种相干光辐射。激光诱变育种在国外从20世纪60年代开始。美国、前苏联、澳大利亚、加拿大等国家研究较早。前苏联培育出早熟的,果实含糖、抗坏血酸、胡萝卜素多的番茄新型及高产的玉米等,成果显著。我国激光诱变育种是从1972年开始的,有近几十个省市的百余家单位开展研究,截至1990年,我国在短短的十几年中在稻、麦、大豆、棉花、黄瓜、番茄、油菜等作物中育成新品种、新品系40多个。大部分新品种已在生产中大面积推广,已取得了显著的经济效益。目前用于动植物诱变的激光类型有远红外 $\text{CO}_2$ ,  $\text{He}-\text{Ne}$ ,  $\text{Ar}^+$ ,  $\text{N}_2$ , 红宝石和钕玻璃6种类型。不同种类的激光,其发射的波长及能量的差异,而使诱变的范围及突变率有明显的差异。不同植物对激光的敏感性不同,同一植物对不同激光的反应也不同。用激光进行诱变育种或其他研究时的处理对象可以是农作物的干种子、浸泡过的种子或剥去种皮的裸胚、幼苗、根尖,也可以是未成熟的花器官、花粉及离体花药等。所用剂量一般采用 $1.0 \sim 50 \text{ J/cm}^2$ ,照射时间在1s至数小时不等。因此不同波段激光,不同应用方法对生

物组织产生的生物效应也不尽相同。总之，激光是一门先进的技术，也是植物育种工作中的一种有效的手段。

为了掌握激光基础知识，了解激光在不同领域中的应用，尤其是在植物育种中的应用，在本书中，首先简要的介绍光的基本知识、激光形成的原理、激光器的主要种类；其次介绍激光在不同领域中的应用，特别是激光与植物有机体相互作用效应、激光在农业上的应用；最后，以编者多年来应用激光进行植物育种所取得的研究成果为实例，介绍如何利用激光进行植物育种。希望能为读者学习激光技术，了解激光技术应用现状和发展前景特别是在植物育种中的应用提供参考。

## 目 录

## 激光生物学原理篇

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| <b>1 光的基本知识</b> .....            | ( 3 )  |
| 1.1 光的本性 .....                   | ( 3 )  |
| 1.2 光的反射和折射 .....                | ( 4 )  |
| 1.3 光的干涉,绕射和偏振 .....             | ( 9 )  |
| 1.4 色散与光谱 .....                  | ( 12 ) |
| <b>2 激光形成的基本原理</b> .....         | ( 14 ) |
| 2.1 激光的特点 .....                  | ( 14 ) |
| 2.2 原子结构和原子光谱 .....              | ( 17 ) |
| 2.3 自发辐射和受激辐射 .....              | ( 20 ) |
| 2.4 粒子数的反转分布 .....               | ( 21 ) |
| 2.5 光学谐振腔及激光的形成 .....            | ( 23 ) |
| <b>3 激光器的种类</b> .....            | ( 25 ) |
| 3.1 气体激光器 .....                  | ( 25 ) |
| 3.2 固体激光器 .....                  | ( 30 ) |
| 3.3 半导体激光器 .....                 | ( 32 ) |
| 3.4 液体激光器 .....                  | ( 35 ) |
| <b>4 激光器的应用</b> .....            | ( 38 ) |
| 4.1 激光在工业与测试方面的应用 .....          | ( 38 ) |
| 4.2 激光在医疗卫生与环境保护方面的应用 .....      | ( 40 ) |
| 4.3 激光在军事方面的应用 .....             | ( 40 ) |
| 4.4 激光与全息照相技术 .....              | ( 41 ) |
| <b>5 激光与农业</b> .....             | ( 44 ) |
| 5.1 激光与植物有机体相互作用效应 .....         | ( 44 ) |
| 5.2 激光对促进当代作物生长,提高产量和品质的作用 ..... | ( 45 ) |
| 5.3 激光在诱发突变育种方面的应用 .....         | ( 49 ) |
| 5.4 激光与农业有关方面的应用 .....           | ( 52 ) |

## 激光生物学在植物育种中的应用篇

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| <b>6 激光对草莓种间杂交不亲和性的影响</b>         | ( 57 ) |
| 6.1 研究背景                          | ( 57 ) |
| 6.2 研究材料与激光处理的方法                  | ( 57 ) |
| 6.3 He - Ne 激光对种间杂交亲和性的影响         | ( 58 ) |
| 6.4 CO <sub>2</sub> 激光对种间杂交亲和性的影响 | ( 59 ) |
| 6.5 讨论                            | ( 61 ) |
| <b>7 激光克服羽衣甘蓝自交不亲和及其分子机制的研究</b>   | ( 62 ) |
| 7.1 研究背景                          | ( 62 ) |
| 7.2 试验材料与激光处理方法                   | ( 63 ) |
| 7.3 激光处理对花粉萌发率的影响                 | ( 63 ) |
| 7.4 激光处理对花粉水溶性蛋白质与淀粉酶活性的变化        | ( 64 ) |
| 7.5 激光处理花粉对亲和指数和结籽率的影响            | ( 64 ) |
| 7.6 激光处理后,花粉表面超微结构观察              | ( 65 ) |
| 7.7 Northern 杂交结果与分析              | ( 66 ) |
| 7.8 讨论                            | ( 66 ) |
| <b>8 激光对草原龙胆自交结实及自交后代幼苗生物量的影响</b> | ( 68 ) |
| 8.1 研究背景                          | ( 68 ) |
| 8.2 试验材料与激光处理的方法                  | ( 68 ) |
| 8.3 激光照射对花粉萌发的影响                  | ( 69 ) |
| 8.4 激光照射对自交结实的影响                  | ( 70 ) |
| 8.5 采用激光照射花粉授粉对子代生物量的影响           | ( 72 ) |
| 8.6 激光照射后花粉表面超微结构观察               | ( 73 ) |
| 8.7 讨论                            | ( 73 ) |
| <b>9 激光处理对百合交配不亲和性影响的研究</b>       | ( 75 ) |
| 9.1 研究背景                          | ( 75 ) |
| 9.2 研究材料与激光处理的方法                  | ( 75 ) |
| 9.3 激光照射对花粉萌发的影响                  | ( 76 ) |
| 9.4 激光照射对自交结实的影响                  | ( 77 ) |
| 9.5 激光照射后花粉表面超微结构观察               | ( 80 ) |
| 9.6 激光处理对受精过程中花粉管生长的影响            | ( 84 ) |

|                                   |                |
|-----------------------------------|----------------|
| 9.7 实体及石蜡切片法观察各交配组合的不亲和受精过程 ..... | ( 86 )         |
| 9.8 激光处理后百合花粉淀粉酶活力的测定与分析 .....    | ( 88 )         |
| 9.9 讨论 .....                      | ( 92 )         |
| <b>10 激光克服远缘杂交的不亲和性的研究 .....</b>  | <b>( 93 )</b>  |
| 10.1 研究背景 .....                   | ( 93 )         |
| 10.2 激光和高压静电场处理对花粉萌发的影响 .....     | ( 94 )         |
| 10.3 激光对远缘杂交的影响 .....             | ( 96 )         |
| 10.4 讨论 .....                     | ( 107 )        |
| <b>参考文献 .....</b>                 | <b>( 109 )</b> |
| <b>附表 .....</b>                   | <b>( 123 )</b> |

# 激光生物学原理篇



# 1 光的基本知识

## 1.1 光的本性

光学是物理学中发展较早的一个部门。在我国古代，关于光现象的文字记载首推“墨经”。其中，总结了光线直进的原理，记录了凹镜成像的实验。其次，在“淮南子”中金杯（类似凹镜）取火的记载。南宋沈括在“梦溪笔谈”中，对于针孔成像、球面镜成像、霓虹、月食等现象都做了详尽的叙述。这些古书中有关光学的记载，在世界科学史上都占有较高的地位。

除了反射、折射、成像等现象外，关于光的本性和传播等问题，也很早就引起人们的注意。古希腊的哲学家们曾提出下面的看法：太阳和其他一切发光与发热的物体都发出微小的粒子，这些粒子能引起人们的光和热的感觉。在17世纪，关于光的本性问题，有两派不同的学说。一派是牛顿所主张的光的微粒说，认为光是从发光体发出的而且以一定速度向空间传递的一种微粒。另一派是惠更斯所倡导的光的波动说，认为光是在媒质中传播的一种波动。微粒说与波动说都能解释光的反射与折射现象时，微粒说的结论是水中的光速大于空气中的光速，而波动说的结论是水中的光速小于空气中的光速。当时人们还不能准确地用实验方法测定光速，因而无法根据折射现象去判断这两种学说的优劣。

19世纪初，人们发现光有干涉、绕射和偏振等现象，这些现象是波动的特征，和微粒说是不相容的。

牛顿的微粒说和惠更斯的波动说都是能解释一定的现象。例如用光的微粒说可以解释光的色散、反射、折射和光的直进等现象；用波动说可以解释光的反射、折射、双折射等现象，但惠更斯没有对光的颜色和直进现象进行解释，因此显示不出哪一种理论更为优越。

麦克斯韦在19世纪70年代发展了光的波动说，建立了光的电磁理论，麦克斯韦认为光波是电磁波的一种，根据电磁场理论，并计算出电磁波的传播速度与光速一样，都是每秒30万km。

从19世纪末叶开始，为了解释一系列的新发现的现象（如光电效应

#### 4 激光生物学原理及在植物育种中的应用

等), 普朗克在做了大量的试验后于1900年提出: 电磁波这种形式的能量辐射是不连续的, 它是以一个一个量子的形式进行辐射。按照普朗克的假说, 频率为 $\gamma$ 的量子能量是:

$$E = h\gamma \quad (1-1)$$

式中:  $h$ ——普朗克常数,  $h = 6.625 \times 10^{-27}$  尔格·秒。

我们把上述的量子称为光量子简称为“光子”。光子的基本特性是具有一定质量、能量和动量的粒子。所谓单色光, 就是由同一能量的光子组成的光。根据量子理论, 辐射的频率就是光子的能量。按照波动理论可知, 不同的振动波, 其频率 $\gamma$ 是不一样的。而量子理论告诉我们, 它们之间存在着 $E = h\gamma$ 的关系。这表明了光具有波动性和微粒性两重属性。这样, 人们就把光的波动性和微粒性这两个矛盾的性质辩证地统一起来了, 并用以描述光的本质。利用这种理论可以令人满意地解释各种光学现象。

关于光的波动和粒子两方面的相互并存的性质, 称为光的二象性。在20世纪30年代里, 人们又发现了实物粒子的二象性。波动和粒子的二象性是近代物理的基础。

## 1.2 光的反射和折射

### 1.2.1 光的反射定律

光线在同一种密度均匀的媒质中, 是直线传播的而且速度也是一定的, 在不同均匀媒质中, 传播的速度是不同的。光在真空中传播的速度最大, 每秒达30万km, 光在真空中传播与光在空气中的传播速度相差很小, 一般把光在空气中传播速度近似看作光在真空中的传播速度。

当光线射到两种不同媒质的分界面上的时候(例如镜面就是空气和玻璃的分界面), 就要改变传播方向, 其中有一部分返回到原来的媒质里传播, 这种现象叫做光的反射。

为了说明光线是怎样反射的, 我们做下面的实验。把平面镜 $MM'$ 放在分度盘的中心, 且使镜面和盘面垂直(图1-1)。如果让光线沿着 $AO$ 方向射到镜面上的 $O$ 点, 在盘面上就会看到有一束光线沿着 $OB$ 方向反射出去。射到镜面的光线 $AO$ 叫做入射光线; 入射光线与镜面的交点 $O$ 叫做入射点; 被镜面反射出去的光线 $OB$ 叫做反射光线; 通过入射点对镜面所做垂线 $NO$ 叫做法线; 入射光线与法线的夹角 $\alpha$ 叫做入射角; 反射光线与法线的夹角 $\beta$ 叫做反射角(图1-2)。转动分度盘改变入射光线的方向, 反射光线的

方向也随着改变。在每一次实验里，都测出入射角和反射角就会发现入射角总是跟反射角相等。

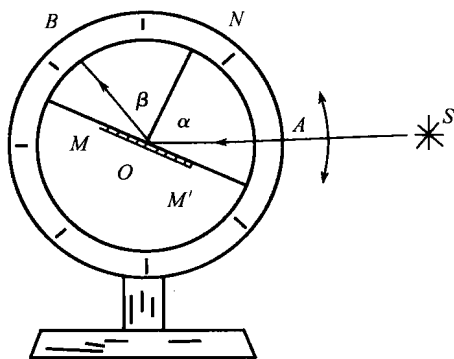


图 1-1 光线反射示意图

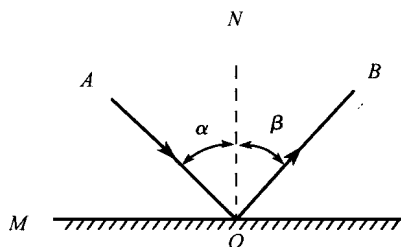


图 1-2 光线反射定律

综上所述，得出如下反射定律：

(1) 反射光线在入射光线和法线所决定的平面里，反射光线和入射光线分居法线的两侧。

(2) 反射角等于入射角，即  $\angle \alpha = \angle \beta$ 。

### 1.2.2 漫反射

光线射到任何两种媒质的分界面上，都会发生光的反射。但光的反射因反射面的性质不同而有所区别。根据反射定律，如果物体表面很光滑，那么当入射光线是一束平行光线时，反射光线也是一束平行光线，这种反射称为镜面反射（图 1-3）。如果物体表面粗糙不平，那么在各点所做的法线就不互相平行，这时即使入射光是一束平行光，反射光束却不再互相平行了，光线向各个方向反射，这种反射叫做漫反射（图 1-4）。正是由于物体的漫反射，我们才能从任意方向看到本身不发光的物体。由于空气尘埃和浮云等的漫反射，我们才能看到如日落后美丽的余晖。

### 1.2.3 光的折射定律

光线射到两种媒质的分界面时，一部分被反射回到原来的媒质里，另一部分进到第二种媒质里，并在第二种媒质里继续向前传播。如果光线射在入射点上不是沿着两种媒质分界面的法线，那么光线进入第二种媒质时，方向也要发生改变，这种现象叫做光的折射。例如，把一根筷子斜着插入水中，

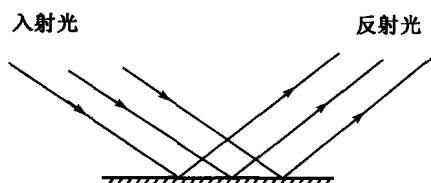


图 1-3 镜面反射图

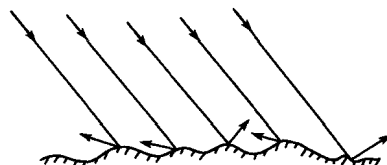


图 1-4 漫反射图

筷子在空气和水的分界面上好像折成两段，这就是由于光的折射所形成的（图 1-5）。

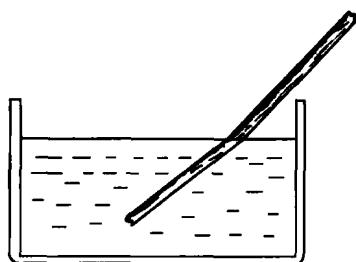


图 1-5 光线折射示意图

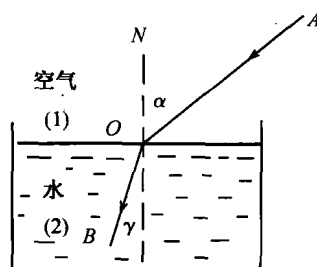


图 1-6 光线折射定律

如果光线  $AO$  从空气射到水面，沿着  $OB$  方向折入水中，如图 1-6 所示。折射光线  $OB$  跟法线  $NO$  的夹角  $\gamma$  叫做折射角。当我们改变入射光线时，可使法线，折射光线的方向也随着改变。光在折射时遵从下述折射定律：

(1) 折射光线在入射光线和通过入射点的法线所决定的平面内，折射光线和入射光线分居在法线的两侧。

(2) 入射角  $\alpha$  的正弦与折射角  $\gamma$  的正弦之比，对于给定的两种媒质来说是一个常数。用数学式可表示为：

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21} \quad (1-2)$$

式中：常数  $n_{21}$ ——媒质 2 对媒质 1 的相对折射率。如果媒质 1 是空气，媒质 2 是水， $n_{21}$  就是水对空气的相对折射率。若媒质 1 是真空，则  $n_{21}$  就叫做水的绝对折射率。由于水对空气的相对折射率和水的绝对折射率相差极小（约 0.03%），因此通常把水对空气的相对折射率近似地看做水的绝对折射率。绝对折射率用  $n$  表示。平常我们所说的某媒质的折射率，就是指该物质的绝对折射率。表 1-1 列出几种物质的绝对折射率。

表 1-1 几种物质的绝对折射率

| 物质    | 折射率  | 物质     | 折射率  | 物质  | 折射率    |
|-------|------|--------|------|-----|--------|
| 金刚石   | 2.42 | 酒精     | 1.36 | 糖   | 1.56   |
| 重火石玻璃 | 1.80 | 甘油     | 1.47 | 冰   | 1.31   |
| 红宝石   | 1.76 | 水（蒸馏水） | 1.33 | 水蒸气 | 1.025  |
| 水晶    | 1.54 | 盐酸     | 1.25 | 空气  | 1.0003 |

从光的波动理论也可以得出：光线从第一种媒质进入第二种媒质时，第二种媒质对第一种媒质的折射率  $n_{21}$  等于光在第一种媒质里的传播速度  $V_1$  与光在第二种媒质里的传播速度  $V_2$  之比，即

$$n_{21} = \frac{V_1}{V_2} \quad (1-3)$$

同理，第一种媒质对第二种媒质的折射率为

$$n_{12} = \frac{V_2}{V_1}$$

所以

$$n_{21} = \frac{1}{n_{12}} \quad (1-4)$$

从公式 (1-3) 可知媒质的绝对折射率  $n$  等于光在真空中的速度  $C$  与光在媒质中的传播速度  $V$  之比，即

$$n_{21} = \frac{C}{V} \quad (1-5)$$

各种物质对光的传播速度都小于在真空中的传播速度，所以各种物质的折射率都大于 1；折射率较大的媒质叫做光密媒质；折射率较小的媒质叫做光疏媒质。当光线从光疏媒质进入光密媒质时，折射光线靠近法线；反之，当光线从光密媒质进入光疏媒质时，折射光线远离法线。由此可见，折射率的大小表示光的折射方向偏离入射方向的程度。

下面，我们再来讨论一下两种媒质的相对折射率与它们的绝对折射率中间的关系。

设某一种媒质的绝对折射率  $n_1 = \frac{C}{V_1}$ ，另一种媒质的绝对折射率  $n_2 = \frac{C}{V_2}$ 。

那么，两种媒质绝对折射率之比：

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{C}{V_1}}{\frac{C}{V_2}} = \frac{V_2}{V_1} = n_{12} \quad \text{即} \quad n_{12} = \frac{h_1}{h_2} \quad (1-6)$$

从1-6式可以看出,第一种媒质相对于第二种媒质的折射率,在数值上等于第一种媒质同第二种媒质的绝对折射率之比。

#### 1.2.4 全反射

前面讲过,光从一种媒质射入另一种媒质的时候,一般是同时发生全反射现象和折射现象的。如果光线是从光密媒质射入光疏媒质,折射角将大于入射角。这样,当光线从光密媒质射入光疏媒质时,就有可能在入射角还没有增大到 $90^\circ$ 以前,折射角就已经达到 $90^\circ$ 。图1-7就表示了这种情况,光线从水里射到空气里,随着入射角的增大,折射光线逐渐远离法线,当入射

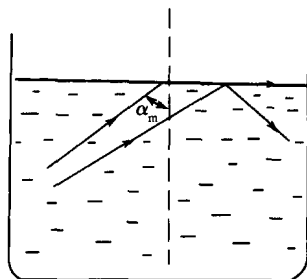


图1-7 光的全反射示意图

角增大到某一数值 $\alpha_m$ 时,折射光线恰好掠过界面,跟界面平行(折射角 $\gamma = 90^\circ$ ),再继续增大入射角,光线就全部反射回水中,不再有折射光线进入空气,这种现象叫做全反射现象。我们把使折射角等于 $90^\circ$ 的入射角 $\alpha_m$ 叫做临界角。可见发生全反射的条件是:

- (1) 光线从光密媒质射入光疏媒质;
- (2) 入射角大于临界角。

表1-2 列出几种物质的临界角:

表1-2 几种物质的临界角

| 物质   | 临界角/( $^\circ$ ) | 物质 | 临界角/( $^\circ$ ) |
|------|------------------|----|------------------|
| 金刚石  | 24.4             | 甘油 | 43               |
| 二硫化碳 | 38               | 酒精 | 47               |
| 玻璃   | 42               | 水  | 48.5             |

## 1.3 光的干涉、绕射和偏振

### 1.3.1 光的干涉

干涉现象是波动过程的基本特征之一。既然光是一种电磁波，当然也就具有相干性。在单色平行光前放一狭缝  $S$ ， $S$  前又放有与  $S$  平行而且等距离的两条平行狭缝  $S_1$  和  $S_2$ 。这时  $S_1$  和  $S_2$  构成一对相干光源。从  $S_1$  和  $S_2$  射出的光将在前面叠加，形成干涉现象。如果在  $S_1$  和  $S_2$  前放置一屏幕  $E E'$ ，屏幕上将出现一系列稳定的明暗相间的条纹，称为干涉条纹。这些条纹都与狭缝平行，条纹间的距离彼此相等，如图 1-8 所示。如用白光做实验，在屏幕上只有中央条纹是白色的。在中央条纹的两侧，由于各单色光的明暗条纹的位置不同，形成由紫而红的彩色条纹。上述现象就是由两束频率相同，周相相同或周相差恒定的光源所发射的光，在空间叠加，形成在某些地方的振动始终加强，而在另一些地方的振动始终减弱或者完全抵消，这种现象称为光的干涉现象产生干涉现象的光称为相干光。在普通光源中，各发光中心是互相独立的，基本上没有相位关系。因此，很难有恒定的位相差，也就不容易显示出干涉现象。但是激光却与其不同，它是现在极为理想的相干光源。有关利用激光的干涉现象在后面还要讲到。

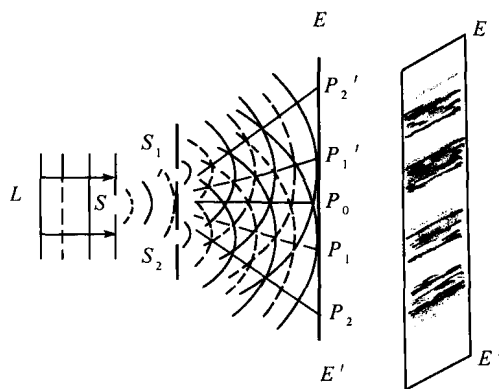


图 1-8 光的干涉示意图