

# 激光在农业科学技术中的应用

孙 凡

(西南农业大学中心实验室)

本文介绍了激光在农业生物育种和促进作物生长发育,提高作物产量和改良品种等方面的应用,对激光在植物保护方面以及在农业基础科学研究中的应用也作了概要的介绍。

激光作用于生物有机体会引起一系列效应,通常有热、光、压力和电磁场四种效应,其中影响较大的是热效应和光效应。这些效应作用的强度不同,可对有机体产生刺激或抑制的作用,甚至会导至有机体死亡。对植物有机体而言,影响光吸收与透射率的是植物色素类型、导热性、热容性以及潜热比等因素。有机体由于吸收了光,才会发生一系列的光化学反应,从而产生分解、电解、发射荧光以及发热等现象。

## 一、激光在农业生物育种方面的应用

研究发现,激光能明显地引起细胞分裂异常,使染色体发生畸变。染色体是基因的载体,染色体的数目和结构的变化,可以引起遗传信息的改变。激光照射生物,实质上可能是光量子与生物分子(或细胞、分子集团)作用<sup>[1,2]</sup>。不同生物分子的化学成分不同,吸收辐射能量就不同,即对光的波长有选择性。而生物分子的激活是靠与激光发生共振的键来实现的。激活不同的特定的键,就有可能人为地改变分子结构。可以设想,用调频激光器选择特定的光辐射能量  $h\nu$  作为入射信号,使它的频率  $\nu$  与生物分子中的化学遗传物质——脱氧核糖核酸(DNA)的某一选定键的固有振荡频率相同时,会使键产生强烈共振,这时其吸收激光能量最大,使这个键与其它部分的结合大为减弱,容易受到破坏,引起脱氧核糖核酸链的断裂,产生分子间的交连,并使遗传密码的次序和分子的结构发生改变。实验表明<sup>[3,4]</sup>,突变的DNA所含

成的蛋白质和原来的DNA合成的蛋白质在特性上是不同的,并且这种变异特性有可能通过细胞分裂和减数分裂传到后代。由于激光单色性极好,只要适当控制激光强度、总能量和脉冲宽度,使它们与引起异构体的因素相对应,就可能诱导DNA向一定方向转化,构成新的遗传密码次序和分子结构,改变农作物原来的某些性质,达到我们选育新品种的目的。

由于激光技术的固有特点,它和其他辐射育种相比具有更多的优点,如突变率高,突变范围广,可以有选择地照射某个部位,可以用不同的波长影响不同品种或同一品种的不同区域,便于携带到田间或其它地方。如需照射花粉、花芽、枝条等特殊部位,不需要苛刻的防护条件就可进行。因此,激光育种很快地引起了人们的广泛兴趣,近年来已取得了较大的进展。

从激光诱变的范围而言,已从稻、麦、玉米、大豆、棉花、油菜、麻等农作物发展到果树、桑、蔬菜、牧草、水产养殖和微生物菌种。例如,重庆光学精密机械研究所等单位用激光处理根瘤菌后,其生长速度、菌落和菌苔生长情况和未用激光处理对比,效果显著变好。用激光处理沼气菌种,可以提早产气,产气量有显著增加。

实验表明,激光育种有如下特点:第一,除二氧化碳、铷玻璃等少数激光外,一般无明显半死剂量。第二,变异频率高,可产生多种诱变类型。诱变类型包括株型变异、粒型变异、生育期变异和品质变异等,其中最有意义的是后两类,它可能使我们获得早熟、高蛋白的新品种。第三,激光的辐射损伤较轻。从水稻、玉米、小

麦和大豆等的诱变育种看出,即使在幼苗期受到抑制,到生育后期也能逐渐恢复。激光对其他辐射损伤还有一定的修复作用。第四,激光有可能诱发当代显性突变。激光辐照后当代出现的形态变异和损伤,一般是不遗传的,但有一些当代变异是可以遗传的,如早熟性、粒型和株高等。

目前,激光育种还处于发展阶段,激光育种技术的发展和完善,还有许多问题需要进一步解决。例如,各种作物由于形态、结构和化学组成不同,因此需要选择不同的最佳波长激光,最适当的照射时间和最佳的激光功率等,还需要解决激光功率的精确计算。当然,更重要的是要加强对激光与生物体相互作用产生的各种效应及激光诱变机制的深入研究。

## 二、促进作物生长发育、提高产量和改善品质

生物体的一切生命活动都是在激素作用下或酶促反应下进行的。激光对生物体的作用,包括染色体的畸变,DNA的复制,直至细胞分裂,都是通过酶控制来实现的。由于激光光子的作用,使酶的构型或组成发生变化,因而对生物体细胞代谢活动产生影响。同时植物色素是一种能被特定波长激光“活化”的光接收体,它控制着植物的多种生长反应。因此,植物在激光的适当照射下,能使种子提前发芽,促进枝叶增长,花蕾增多,实现果实早熟,改善品质等。

国外最早进行这方面研究的是美国和加拿大。他们发现蚕豆、萝卜和南瓜种子经红宝石激光照射之后,生长加快。例如,被激光照射过的蚕豆样品在种植后的第七天在土壤表面露出了芽子,而对照样品则在第九天才出芽。据苏联报道,用密集的红宝石激光束处理,西红柿和青瓜的发芽率提高了12%至21%<sup>[5]</sup>,作物发育较快,开花结果都比用于对照的样品要多。有些作物经激光刺激后可明显改变其品质,提高产量。例如,国内用激光育种方法育成的“83-3”水稻品系,蛋白质含量在13%以上,高

于一般水稻品系<sup>[6]</sup>。有人对玉米种子进行了激光播前处理,玉米生长茂盛,棒粗棒长,成熟期提早了5至7天,产量增加10%<sup>[7]</sup>。

在作物生长期用激光进行照射也能获得较好的效果。最近保加利亚学者Antonov等人通过玉米籽粒辐射试验证实<sup>[8]</sup>,激光能促进植物的光合作用,增强其蒸腾作用和对CO<sub>2</sub>的抵抗力,在幼苗生长前期,叶片和全株干物质含量均有所提高。Konstantinov等用低剂量的红色激光照射植物种子芽细胞,发现激光能促进细胞内DNA的合成。

## 三、激光在植物保护方面的应用

激光也可以用来诊断作物的营养状况和病虫害情况。由于激光照射植物叶片时,会产生荧光,这种荧光因作物的营养情况不同以及受害程度不同而变化,测量这种荧光变化能对植物的营养状况等作出“诊断”。联邦德国慕尼黑大学应用光学系射线与环境保护研究所利用激光对绿色植物进行保护性检测和诊断,实际上就是利用激光荧光方法进行甄别。他们的研究证明<sup>[9]</sup>,承受毒害的绿色植物,用激光激发的荧光寿命远大于正常的植物所产生的荧光寿命(见图1)。利用激光荧光方法就可以随时检查植物的受害情况,以及大气、水源等的污染情况。美国皮尔斯威尔农业研究中心的研究人员也用氮分子激光器作了类似的研究<sup>[10]</sup>。由于荧光是一种光致发光,也是光能传递的一种方式,而且荧光强度与被激发分子含量成正比,故可作定量分析。目前,用激光荧光方法可以诊断许多粮食作物的氮、磷、钾、铁、硼、钙等元素的含量。更有意义的是,这种激光-荧光效应很明显,可以在几公里以外的高空用仪器观察,这就为人们利用飞机或卫星进行遥测提供了条件。这种技术的优点是省时,不消耗药品,而且是无损测量等,但还需要对测量的精确性进一步进行研究。

在激光防治害虫方面,1965年加拿大就开始了研究。利用高能激光可以破坏害虫的某一

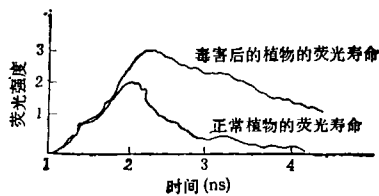


图1 植物荧光寿命的曲线

个或几个发育时期(卵、幼虫或若虫、蛹、成虫)。如采用具有大直径光束的轻便激光器或将10—20个小直径光束的激光器排成一排,照射一块大田作物,可以杀死害虫。这种方法需要在使用前先找出对害虫致死的有效波长和剂量,激光器发出的波长应刚好是所要防治害虫的表皮色素层的最高吸收水平。据报道,波长为450—500nm的激光可以杀死鳞类和蚊类。利用激光作诱捕器也是一种有效的方法。由于昆虫的复眼对各种波长的鉴别能力很强,因此,可以利用能够调节的激光器将害虫诱入陷阱。激光治虫的优点是不会产生公害,但穿透力弱,不能杀死隐蔽的害虫<sup>[11]</sup>。

#### 四、在农业基础科学研究中的应用

近代农业基础科学研究,比如细胞学、遗传学、生物化学、植物生理学等学科的研究已开始逐步地从分子、亚分子、量子水平上来揭示农业生物学的分子结构,功能及能量转移,动力学性质等生命过程的机制与普遍规律。具有高时间分辨率(可达几十毫微微秒),高空间分辨率(可达亚微米),高光谱分辨率(可达0.01 Å)的各种激光和激光光谱技术,就成为这些研究最有效的手段和工具<sup>[12-14]</sup>。

在遗传工程方面,长期以来细胞学和遗传学工作者就希望能设法给细胞甚至染色体动手术。但是,细胞的大小一般只有几个微米至几十个微米,染色体的结构就更加精密,使用一般的技术是根本不可能的。而目前激光能够聚焦到0.2 μm以下,可以作为很好的“手术刀”进行细胞解剖工作。迄今,激光显微操作对体外培养动物细胞的染色体切割和染色体局部区域的

DNA失活,诱发核仁基因缺失,微核仁的形成,有丝分裂倒转,两栖类和鱼类早期胚胎的选择性损伤,激光诱导细胞融合以及激光打孔转移外源基因等,都取得了可喜的进展。国外一些科学家目前正利用选择性光化作用对DNA分子实现“剪裁”与“拼接”的研究。这类人工改造生物品种如能成功,无疑会揭开人工合成生命物质以及工厂制造“生物产品”这样一个“工程生物”时代的序幕。

农业生产栽培植物的目的是为了利用植物的光合作用,即通过绿色植物吸收日光能把CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>制造成有机物质。因此光合作用的研究在农业科学和生物科学中都有重要的意义。但无论是光合作用中重要的运输过程——激子的快速迁移,还是生物大分子中原子、分子、分子链在生物化学反应过程中的重新分布,许多需要在10<sup>-10</sup>s左右的微微秒快过程中进行研究。过去由于没有能够在短时间内发射强通量的光源,即使是同步辐射光也只能达到毫微微秒过程,因此,研究微微秒过程的脉冲光谱学进展不大。自从有了高脉冲激光以后,此类激光光谱技术成了目前研究光合作用以及生物化学超快过程的唯一获取信息的工具。例如,现在贝尔实验室可达到5 × 10<sup>-13</sup>s的激光脉冲,可以与生物分子产生相互作用而不损伤活体,并可实现光控生物化学反应,对样品的某种单体进行光解。下面我们看一看原初光合作用机理这样一个超快过程研究的例子<sup>[15,16]</sup>。光被植物(或某些细菌)中的色素吸收产生一个受激态,这个受激态传递到叶绿素a或细菌叶绿素再导入反射中心。光合作用的原初化学过程每次就在作为反应中心的这一分子上进行。反应中心连接了许多色素分子,其中任何一个都可以吸收光子并将其能量传递给反应中心。人们用锁模Nd<sup>3+</sup>:YAG选出的单一脉冲,经过倍频为5300 Å和混频为3530 Å辐照样品,测量叶绿素a发出的6900 Å的荧光,细菌叶绿素发出9200 Å荧光,用条纹相机进行显示。其原理如图2所示。实验证实偶极-偶极相互作用适于描述光合作用单元中的无辐射转移。由植物叶

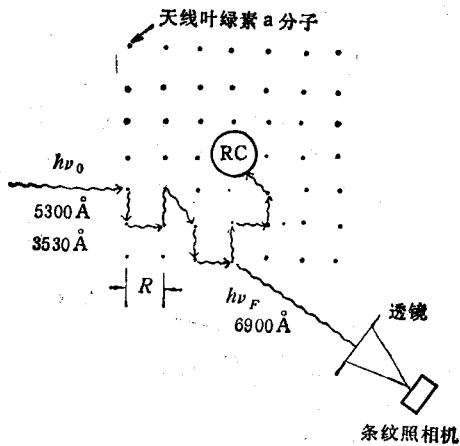


图2 原初光合作用机理

$\nu_0$ ——激光频率;  $\nu_F$ ——荧光频率;  
RC——反应中心; R——分子间距

绿素的非指数荧光衰变证实了绿色植物中有两个光合系统的存在。虽然光合作用研究方面已先后有六次成果获得诺贝尔奖,但离人工模拟光合作用的目的还差得很远,这方面还有许多奥秘等待人们去揭示。可以预见,激光生物超快过程的研究在这方面有着诱人的前景。

此外,各种激光光谱分析技术,如红外激光光谱分析、激光荧光光谱分析、激光拉曼光谱分

析、激光光声光谱分析以及激光全息照相等,在农业生物学研究,作物、果实的成分分析、品质鉴定,土壤肥料残毒物质的测试分析,以及记录和重现作物精细结构信息等方面也获得了越来越多的应用。

- [1] M. L. Wolharsht, *Laser Application in Medicine and Biology*, Plenum Press, New York, (1971), 1.
- [2] L. Stryer et al., *Ann. Rev. Biophys.*, 11-1 (1982), 203.
- [3] L. E. Olson et al., *Brain Res.*, 204-2 (1981), 436.
- [4] M. J. Thompson et al., *Photochem. & Photobiol.*, 39-1 (1984), 17.
- [5] M. W. Berms, *Laser Focus*, 7-7 (1971), 38.
- [6] 叶家全, *激光杂志*, 7-4(1986), 223.
- [7] 哈尔滨市仪器仪表技术研究所激光育种研究小组, *激光*, 1-1(1974), 48.
- [8] 朱九明, *激光杂志*, 9-1(1988), 8.
- [9] 孙遇恭, *激光与光学*, No. 1(1987), 27.
- [10] 付志东, *西北农学院学报*, No. 4(1985), 85.
- [11] 雷仕湛, *激光与现代化*, 科学普及出版社, (1983), 18.
- [12] J. A. Valdmanis et al., *J. Quantum Electron.*, 21-1 (1986), 69.
- [13] P. R. Smith et al., *Appl. Phys. Lett.*, 33-9 (1981), 739.
- [14] J. H. Richardson et al., *Anal. Chem.*, 49-7 (1977), 955.
- [15] A. J. Campillo, *Opt. Commun.*, 18-1 (1976), 142.
- [16] C. S. Beddard, *Nature*, 258-5531 (1975), 166.

## 《物理》编委来信摘登

**编者按:**安徽省淮南师范专科学校物理系周武元副教授和淮南市第三中学物理教研组王学珍老师合写的《我们的一些建议》一文,于1989年11月18日在我刊内部通讯上发表后,陆续收到一些编委的来信,就《物理》如何更好地满足不同层次读者的需要,发表了一些很好的意见,现摘登如下。希望各位编委和关心我刊的作者和读者继续就这一问题发表意见。

《物理》编委、四川大学材料科学系副主任肖定全副教授于1989年12月17日给编辑部来信指出:

“我想主要应在文风上,在深入浅出上下功夫,避免过多,过繁的数学公式,图文并茂,是一个值得提倡的作法。过去已多次提到,但似乎冗于公式的文章还时有出现。在文风上,我国出的《科学》杂志是高级科普型的,我们的知识和进展栏可否办成此种类型”。

《物理》编委、天津理工学院材料物理研究所副研究员熊光楠于1989年12月9日给编辑部来信指出:

“目前,《物理》杂志稿件深入讨论专业知识细节的比较多,比较深,不失给相邻或相同专业科技人员以知

识和启示。但总观起来,具体战术性文章多,而更为战略性的,更为灵活的介绍和评论稿件就很少见。例如第二次世界大战之后,核弹、核反应在物理学中占推动地位。后来有半导体、激光。目前大到星球大战计划,小到隐身飞机和激光唱机,这些能带动许多专业的概念、方法材料的综合发展的项目是否可以多介绍一些。这类文章既可为专业人员开拓思路,又为广大群众感兴趣,知识面广,可读性强”。

(《物理》编辑部根据编委来信摘录)