

科技专题参考资料

激光

(激光农业应用)

第十集

科学技术文献出版社重庆分社

激 光 第十集
(激光农业应用专集)

中国科学技术情报研究所重庆分所 编辑
科学技术文献出版社重庆分社 出版
重庆市市中区胜利路91号

四川省新华书店重庆发行所 发行
宝 鸡 市 人 民 印 刷 厂 印刷

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 6 字数: 18.8万
1977年9月第一版 1977年9月第一次印刷
印数: 4000

统一书号: 15176·130 定价: 0.53元

编 者 的 话

激光是六十年代初期才发展起来的一门尖端科学。它与普通光相比具有异乎寻常的特点，因此，自它一问世，就得到各国的重视，发展极为迅速。目前，激光除在国防、工业、医学和科研等方面外，在农业上也得到日益广泛的应用。

遵照伟大领袖毛主席关于“**有了优良品种，即不增加劳动力、肥料，也可获得较多的收成**”的教导，近几年来，我国已有十几个省、市、自治区的近百个单位，更可喜的是还有一些公社生产队的科研组，进行了激光农业应用的实验和研究工作，对多种农作物作了激光辐射处理，取得了提高早熟、增加产量、减轻病害及遗传变异等良好效果。

今后，在深入揭批“四人帮”的斗争推动下，在“**普及大寨县**”群众运动中，激光在农业上的应用必将更加深入、普及，为农业生产大干快上作出更大贡献。

为此，我们收集了国内、外有关这方面的一些资料，汇编成这本专集。由于资料不足，内容很不全面，加之编者水平有限，错误在所难免。希广大读者批评指正。

目 录

综 述

激光在农业和遗传育种研究上的应用	(1)
激光在生物学研究中的应用	(10)

理 论

通过激光活化植物色素在田间控制植物 生 长 和发育	(16)
激光辐照葱细胞后对其细胞遗传学影响的研究	(20)
红宝石激光器辐射对光合作用初期生化反应的作用	(23)

器 件

氮分子激光器的研制	(26)
激光田间扫描仪	(27)

应 用

激光辐照水稻种子试验简报	(29)
激光诱变水稻育种试验	(33)
氩激光多次照射水稻种子试验初报	(35)
激光照射水稻秧苗的初步试验	(37)
CO ₂ 激光照射稻花的试验初报	(41)
以路线斗争为纲,开展激光照射水稻品种试验	(43)
1974~1975年后季稻激光育种试验小结	(47)
开展小麦激光育种研究工作的初步结果和体会	(49)

激光与钴⁶⁰γ射线复合处理小麦干种子对根尖细胞的影响..... (51)

激光对小麦生长发育及品质的影响 (54)

激光照射小麦、玉米、黄瓜的生物学效应 (59)

激光处理玉米种子试验简结 (63)

激光处理大豆种子的实验情况 (65)

激光处理马铃薯的初步效果 (69)

激光在油菜育种上的初步结果 (70)

用激光照射种子 (74)

激光能提高单倍体育种的效果 (76)

激光照射蚕卵的效应初报 (76)

激光处理蓖麻蚕蛹、卵的初步试验 (80)

电子学与昆虫防治 (83)

激光应用于除虫除草方面的可能性 (85)

用激光防除杂草 (88)

用激光束散射辨别水态云和冰晶云 (89)

消息

用激光束剪羊毛 (94)

激光在农业和遗传育种研究上的应用*

激光是六十年代出现的一门新兴技术。它是一种受激跃迁的辐射光,具有能量高度集中、光色单一、方向性好等特点,在国防、工业和医学上的用途日益广泛。和其他部门比较起来,激光在农业上和遗传育种上的应用开展较晚,积累的经验尚不很成熟。毛主席教导我们:“我们必须打破常规,尽量采用先进技术,在一个不太长的历史时期内,把我国建设成为一个社会主义现代化的强国。”因此,我们应该积极地开展激光在农业上和育种上应用的研究,为“农业学大寨”和普及大寨县的伟大群众运动服务。激光育种是一个新鲜事物,我们应该满腔热情地、不怕困难地开展研究,但对其研究的现状和进展必需以实事求是的态度,科学地、客观地加以分析和估计,以利于工作的健康发展。

一、激光对有机体的影响

农业研究的对象大多数是生命有机体,因此我们要利用激光于农业,首先必须了解激光对生物机体的作用原理。激光对生物体的作用显然不同于对无生命物质的作用。由于生命有机体是自然界运动的最复杂的一种形式,激光对机体的作用是相当复杂的,直到现在,我们对于这个问题了解得还远远不够,但大致可以从光、热、压力、电磁场等几方面效应来加以考虑。

(一) 光 效 应

有机体吸收了光,便能引起发生分解和电解的过程、以及产生荧光而生热等光化学反应过程,从而能使有机体产生某种影响和变化。这与一般光化学反应过程是基本一致的。因此,只有被机体吸收了的那部分光,才可能对有机体发生作用。因此,研究激光对有机体的影响时,激光波长的透过率(T)和吸收率(A)就成为重要因素,A值大,它的效应就强。另外,由于激光具有能量密度极高的特点,还可能导致对有机体发生多光子吸收的非线性效应和其他效应而使有机体产生较大的演变。各种生物机体和构成生物机体细

胞中的各种物质分子,由于其形态、结构和化学组成不同,对不同波长的激光的反应也不同。为了获得理想的光效应,需经反复实验,才能确定其有效的作用光谱范围。在用普通的各种光谱诱发突变的实验中,证明细胞中起遗传物质作用的去氧核糖核酸(DNA)大分子对紫外光(光谱为2600—2650埃)有最强烈的吸收作用,同时,紫外光也有最大的诱变效应,则吸收光谱与作用光谱是一致的。能量密度高、单色性及方向性好的激光的生物光效应的有关规律如何?是否紫外部分光谱的激光诱变效应也最显著等问题,均应进一步加以研究,近几年我们的初步实验证明,可见光部分的激光(如氢离子激光器发射的波段为4880及5145埃)也具有诱变效应。

(二) 热 效 应

激光有良好的相干性,这使得它对有机体引起的热效应要比普通光显著得多,而且不同于一般的光热效应,如将激光聚焦于有机体的微小部分,持续几毫秒的短时间,就能使这部分的温度上升几百度至一千度(摄氏)之间。并且其温度下降的速度,比激光以外的任何方法要慢得多,如摄氏四十至五十度的有机体局部温度能保持长达一分钟左右。这种“激温”效应有可能使遗传基因内的原子发生位置上的改变,因而引起诱发突变的效应。遗传学的研究证明,激温是诱发突变的一个因素。在14℃下突变率为0.086%,22℃时为0.191%,28℃时为0.347%。可说在一定变动范围内温度每增加10℃,突变率可增加一倍。激温能够引起突变的原因,可从量子变化规律来理解。据估算每一基因是由大约1000个原子组成的分子,热能运动在代谢过程中经常进行,基因中的原子就有可能受到高能量的作用而改变位置,变成异构分子,因而引起突变。

(三) 压 力 效 应

尽管光在照射表面时形成的压强是微弱的,但激光能量高,形成的强压不可忽视。分析起来激光的压力效应可来自两方面。

1、激光聚焦后会产生极大的功率密度，因而会产生极大的辐射压力。例如当每平方厘米功率为十万千瓦的激光束，其表面压强每平方厘米可高达四十克。

2、由于聚焦激光在有机体组织中引起的瞬时“激温”效应，这会使有机体组织引起膨胀、变形甚至气化而产生所谓次生冲击波效应。

光压和次生冲击波构成的总压力效应可能引起有机体结构和组成的改变，从而引起性状的变异。

(四) 电磁场效应

激光是一种高能量的电磁波，伴随着激光强光，必然也产生一个强的电磁场。例如当激光的功率密度达到 5×10^{14} 瓦/厘米² 时，就可产生 4×10^8 伏特/厘米的强大电磁场，从而可使有机体的分子、原子离化以及产生自由基等。过去细胞遗传研究也曾证明：强大的电磁场能引起细胞分裂产生畸变，因为磁场有可能引起DNA分子中氢键的断裂和碱基的替换，使基因物质发生改变。

总的看来，激光有可能通过光、热、压力和电磁场等效应对有机体发生作用，这就是我们在农业上应用激光的基础。至于上述哪一种效应占主导地位，则需视激光的波段、能量以及生物体的具体状况来决定，但光效应无疑是个基础，而且看来它的效应不是单一的，是比较复杂的。

二、激光在农业上的应用途径

激光在农业上应用途径初步看来可有以下几方面：促进作物生长发育，提高产量和品质；做为新的诱变剂，开展激光遗传育种研究；防治害虫和在农业基础科学研究中的应用等，现分述如下：

(一) 促进作物生长发育，提早当代熟期和当代产量与品质。

实验表明，植物在激光适当剂量的照射刺激下能起到种子发芽期提前，叶枝加大或增长，花蕾增多，果实早熟等植物生长效果。十多年来，国外曾通过激光照射种子、种苗以及不同生长期的作物进行过效果实验研究。

1、种子播前照射处理

种子照射处理因简便易行，目前研究最为普遍。这方面较早是见诸于美国与加拿大的报导，例如美国

陆军医学研究试验室和加拿大圭尔夫大学曾用红宝石激光对蚕豆、萝卜、紫花苜蓿和南瓜种子进行处理试验，都取得了提高种子发芽势和发芽率*的效果。例如在一次实验中，被受激光照射过的蚕豆样品种植后第七天便露出芽子，而对比样品需九天时间。实验还表明，种子完全发芽需用时间与激光照射剂量有关，一般的规律是剂量加大完全发芽期便随之缩短。如一组受较大激光剂量照射处理的蚕豆种子，完全发芽时间仅用十六天，而用较低剂量时则需二十六天，但也出现相反的情况。如用紫花苜蓿作实验时发现，用每平方厘米二十五焦耳的脉冲强度比每平方厘米五十焦耳更有效。在上述实验中，美国陆军医学研究实验室使用的激光以输出功率范围每平方厘米一至一百二十焦耳，脉宽为二点五至三毫秒，并以五至五十个种子为一组的样品受适量剂量的非聚焦激光照射。加拿大圭尔夫大学所用激光器的功率输出范围为每平方厘米二十五焦耳，脉宽为零点七毫秒，激光器的全部输出被聚焦到五十个种子的种柄痕上一直径为一毫米大小的点上。

苏联基洛夫大学曾用氦——氖激光器与红宝石激光器进行种子播前处理试验，取得了使西红柿和青瓜的发芽率提高百分之十二至二十一、秧条长得快、开花结果既早又多等良好效果。被试种子是盛在特制槽中并作往复运动，特制槽则放在缓缓转动的金属环上，激光是从高处照射到种子上。阿拉木图、东哈萨克和其他州的一些农场现都建有蔬菜与经济作物种子播前处理机器。试验表明，对黄瓜、西红柿、甜菜等种子进行短时间处理，能显著提高发芽率，且果实中两种维生素与胡萝卜素含量均有所增加。

澳大利亚阿德莱德大学曾用单模输出功率为三毫瓦的氦——氖激光器对苜蓿种子作处理试验。试验结果表明，照射时间仅一秒钟时没有任何反应，十秒钟发芽率显著提高，一分钟效果最佳，超过三十分钟以上时发芽率反而降低。又发现，翌年对同一批种子进行试验所得结果差异很大，一百秒效果最佳，一千秒则出现明显的抑制作用。此外，用激光处理玉米，得到了秆高且粗，棒大粒多、产量增加一至二成的效果。

近年来，我国哈尔滨、上海等地一些单位的激光试验组对多种农作物、蔬菜等的种子进行激光处理，都证明：适当剂量的激光处理能打破种子休眠期，提高发芽率与发芽势，促进苗期生长，以及缩短生育期和有增产的效果等，我们将水稻种子以氦离子激光器进行处理，也观察到类似的结果（表一）。

* 发芽势是以种子播后第三天发芽种子数占所播种子数的百分数表示。发芽率是以种子播后第七天发芽种子数占所播种子数的百分数表示。

表一：氩激光普通照射“科外选”L₁代生长发育情况（74年3月18日播种）

处 理 组 合	生 长 发 育 情 况				始 穗 期
	7 天		15 天		
	高度(厘米)	分蘖数	高度(厘米)	分 蘖 数	
20分钟（浸种72小时以上露白种子）	0.36	0	0.82	0	6月8日
30分钟（同上）	0.50	0	2.0	$\frac{1-2}{(1/2)}$	6月5日
45分钟（同上）	0.56	0	2.0	$2(1/3)$	6月9日
60分钟（同上）	0.56	0	1.56	$2(3/5)$	6月11日
对 照	0.24	0	0.73	0	6月11日

值得注意的是，种子播前处理还可以得到使农药使用量减少的效果。这是因为较快的生长速度在植物生活的某些阶段中可减轻昆虫损害影响的缘故。

种子经激光处理之后所以能够提高种子发芽率和发芽势、促进作物生长、缩短成熟期以及提高产量，其原因可分析为：新陈代谢是植物生命现象的最基本条件，而促进新陈代谢作用的各种复杂化学反应过程都是在酶的作用下实现的，种子经一定剂量激光照射后，种皮和内部细胞的吸水性和透气性均相应提高，这正是满足促进种子中酶的活性和加快各种水解酶合成所需的必要前提。因此，激光还可能使受损伤或失去活力的种子再次复活，这是因为激光能引起酶激活的缘故。这种看法已为实验结果所证实。

从上述种子照射处理的试验可以看到，影响理想激光效应的因素很多，例如激光波长、能量、照射时间长短与照射方式的选择、被照射种子的存放期以及湿度等都都有着直接的关系，因此必须经过多次反复试验，才能确定各种因素的最佳配合关系，以达到预期的效果。另外，要将激光技术用于当代增产，还应改进激光器，使一次能处理大量种子，对处理后的植物的栽培技术也应跟上，否则，苗期生长优势不一定能导致增产的效应。

2、作物生长期照射处理

实验表明，在作物生长期用激光对植株进行照射处理能加快植物叶绿素的光合作用，同样可得到许多良好的效果。

苏联哈萨克马铃薯与蔬菜种植研究所于一九七二年曾用携带式专用红宝石脉冲激光器对青瓜秧和西红柿株进行照射处理试验。发现青瓜秧上的雌花数量增加一倍半。西红柿花数和结果亦比较多。结果产量提高，品质改进，青瓜和西红柿中维生素的含量增

加，糖分也较多。苏联阿拉木图州某国营农场亦曾进行用激光照射处理“罗曼诺夫斯基—06”和“亚尔图什科夫斯基杂交品种”甜菜，带来高产的效果，而且糖分有所提高。如“罗曼诺夫斯基—06”的糖分增加百分之一至二，“亚尔图什科夫斯基杂交品种”增加百分之三点五至五点二。

国外于一九六九年还发现氮——氩激光对兰、绿藻提取分子氮的过程有明显的刺激作用，对海藻石类（V₁V₂）照射能使氧释放率提高一倍。光合作用加强。并发现藻类（轮藻巨细胞），蕨类植物（铁线蕨的原叶体）以及藓类（拟金发藓孢子）等植物经激光照射能加快细胞生长，生长速度提高五倍之多。

用激光处理作物植株更重要的是，这种技术使用灵活，可根据需要控制作物的不同部位以实现不同的效果。例如澳大利亚阿德莱德大学曾用氮——氩激光器对林木、大麦、小麦、燕麦、甘蔗、以及日本牵牛花和菊花等观赏植物进行一系列的照射试验，取得了初步的预定效果。例如在长的冬夜里，用短脉冲激光对各种林木作短时间照射，能刺激植物叶绿素反应，都取得生长率提高二至三倍的效果。在冬夜中，用激光短时照射处理早期生长阶段的大麦、小麦、燕麦等作物植株，能大大促进开花和结果。用激光连续几个晚上对甘蔗照射，能抑制开花速度，从而使甘蔗的营养生长期延长，提高作物的产量。对于日本牵牛花和菊花一类观赏作物用激光处理后能使形态改变。例如控制花蕾的数目，抑制中胚轴的生长，因而可控制茎秆的高矮。

值得指出的是，植物生长期激光照射虽带来种种有利的效果，但由于大田作物植株数目极多，而且极为分散，如何用一台激光器实现同时对所有植株照射处理是一个技术难题。但据国外报导，通过对植物光合作用机制的研究，已为解决这一难题提供了可能，已提

出了具体的解决途径。众所周知,植物生长所依赖的光合作用的总化学反应过程可表示为下列反应式:

$$\text{光} + n(\text{CO}_2) + n(\text{H}_2\text{O}) + \text{植物叶绿素} = (\text{CH}_2\text{O})_n + n\text{O}_2 \uparrow$$
植物根部吸收水分以及叶片摄取大气中二氧化碳后,在阳光照射下,通过植物叶绿素的光合作用生成氢氧化碳水化合物并释放出氧气。

但据研究结果发现,上述的总反应过程是多次反应过程组成的。其中有些反应过程需在光照之下进行,称为“光反应”。有些反应过程则不需要在光照条件下进行,称为“暗反应”。目前有人把光合作用过程归结为下列三个阶段,第一阶段是通过一系列由酶催化的暗反应,使水分解为羟基和氧,氧经演化而释放,第二阶段是叶绿素吸收光能,使氢原子或电子从第一阶段的中间产物传递到某些还原型的二氧化碳中间体,这是光化学反应阶段;第三阶段是通过一系列的暗反应,把从大气中摄取的二氧化碳还原为碳水化合物,氨基酸以及其它植物组分。此外更重要的是,光反应过程时间只有十万分之一秒左右,而暗反应过程则长达百分之一秒左右。因此可以认为,连续光照并不是植物生长的最佳条件,而应该是光照百万分之一秒,非光照百分之一秒交替的条件下为最佳。这一条件用一台激光器照射面积相当大的作物而成为可能。有人提出了激光扫描装置的具体设想:该装置主要由激光器、空心杆、空心圆球等部分组成,附设马达和滑轮。激光器发射的微光束通过空心杆到达空心圆球,空心圆球由马达通过滑轮以每分钟六千转速度旋转。空心圆球基本上是一封闭球体,仅有一弧度为零点三六度的窄缝隙。到达空心圆球的激光束可通过窄缝隙在夜间均匀地扫射到大田的植株上。河北大学物理系激光组制成的激光田间扫描仪就是一例。有人宣称,如果将激光器高挂可使有效照射面积扩大到二百至六百亩。

(二) 做为新的诱变剂,开展激光遗传育种研究

自本世纪20年代发现并证明物理因子(首先是X射线)的诱变效应以来,经过较长时间的探索,随着原子能工业及其他技术的发展,人工应用理化诱变剂(如 γ —、 β —射线,快,慢中子以及EMS等化学诱变剂)于作物育种也进入了应用阶段。通过人工诱变,在我国及世界其他国家都已分别获得了上百个具有丰产性能好、抗逆性强、品质优良的农作物的新品种在生产上加以应用。看来,激光作为一种新的诱变剂是有前途的。

据苏联报导,用红宝石激光照射拟南芥种子, M_1 世代的种子发芽显著低于对照,而 M_2 世代的分析表

明,可产生28.4%的突变。突变体的叶子表现为浅绿、黄色和白色,用氩氟激光处理番茄须根,曝光时间可为5、15、10、45分钟。在这种剂量范围内,染色体重新排列的百分数均匀上升,被激光照射过的种子长出的植株中还发现核型雄性不孕性。基洛夫大学生物物理实验室借助激光的非热能光辐射,通过连续几代的处理,已经获得了番茄的新类型,它们成熟较早,植株的大小与颜色均不同于原始品种“苏联”,新类型遗传性稳定,所含的糖、抗坏血酸和胡萝卜素较多,储藏时间也较长。

我国开展激光在农业上应用工作,一般都是从1973年开始的。三年来,我国在激光诱变育种研究方面进行了大量的工作,获得了不少试验结果和数据,现将部分资料介绍如下:

据黑龙江省农科院报导,1973年开始先后用铍玻璃、氩离子、氮分子和二氧化碳四种激光器处理小麦,现已获得氩离子处理的 L_3 代材料。试验发现,处理湿种子的发芽势最高(比对照高3倍),干种子次之(比对照高20%),表明萌动种子比干种子敏感性高。用较高功率密度处理种子,当代表现熟期提早,抗病性亦有不同程度提高。如用功率密度40瓦/厘米²的 CO_2 激光照射0.2、0.3和0.5秒,当代熟期提早2~3天(各处理组之间差异不大)。

吉林农业大学于1973年冬开始,先后用六种激光器(CO_2 、氩离子、红宝石、氦—氟、氮分子和无机液体等)以不同剂量照射了四个春小麦品种(罗—16、克丰1号、他诺瑞和新曙光1号)种子,还进行了激光与快中子的复合处理试验。现已获得 CO_2 激光处理 L_3 代材料。通过试验发现:“罗—16”品种用 CO_2 激光功率密度7瓦/厘米²间歇照射5分钟,其 L_1 代植株生长明显受抑制,表现在种子发芽率和田间出苗率下降;生育期后延,茎秆矮化,出现黄化穗及重叠小穗增多现象。经细胞学观察发现到,花粉母细胞减数分裂过程发生异常现象,如出现落后和被遗弃的染色体、染色体桥、多极分裂、不等分裂和染色体胶连等,畸变率达5.85%,由此表明激光可能诱发变异。 L_2 代产生突变分离现象,在1042株中发现1株早熟突变(早熟7~10天),一株短秆突变(比对照矮15—20公分)。从 L_2 代材料中选出9个单株培育的 L_3 代中,其早熟突变株系已基本稳定,3个株系有严重分离,表现有高秆和矮秆、早熟和晚熟、穗形不同,并且出现了冬型株态。由此证明经 CO_2 激光处理, L_2 和 L_3 代均可产生突变分离,其中早熟和矮秆等均为有利突变性状。并且,试验发现激光处理有当代产生显性突变的可能性。

浙江省农科院作物所报导:1973年开始用红宝石

激光分别以44和63焦耳/厘米²对水稻（中粳“科印3号”干种子）进行照射试验，发现（1）低剂量激光处理种子有一定刺激作用，出苗率比对照增加9.3~20%。成秧率提高9.9~23.1%。（2）激光对辐射损伤（致死）有复活或加剧效应，如激光照射经γ射线3万伦处理过的干种子，其成秧率分别为80%和89%，比只由γ射线处理的成秧率（56%）增加42~59%；仅γ射线4万伦处理的成秧率为45%，而经加激光处理的成秧率分别为69%和73%（增加53~62%）。

哈尔滨新师范生物系报导于1973年用氩—氦、CO₂三种激光照射四个大豆品种（满仓金、选群1号、吉林1号、瑞兴大豆）的种子进行诱变育种试验，（1）当代植株形态产生各种变化，普遍表现生长受抑制（苗期生长慢）、植株细弱，出现二、三茎植株，结荚匀性由无限变为有限，植株变矮生秆强类型。（2）L₂和L₃均有分离现象，照射后代易出现丰产性状较好的植株，如分枝多、株形收敛、荚密、秆强、矮秆，选育出适应当前高肥足水的品种。（3）观察照射当代植株花粉母细胞的减数分裂行为，发现染色体产生畸变，出现染色体胶连、落后染色体，看到花粉粒有不孕现象与异常大小的现象，从而说明激光也是诱变的物理因素之一。（4）激光引起的当代变异，有

的可以遗传，但其他辐射因子的当代变异多数不能遗传，这是两者不同之处。

据南开大学生物系遗传教研室报导，1974年起用CO₂和氩离子激光对小麦（7个品种）、玉米（40个自交系、杂交种、品种）、黄瓜（4个品种）进行照射，试验发现（1）用8焦耳/厘米²×35秒、40秒、50秒的氩离子激光处理春小麦（东红1号）干种子，照射后出苗率仅50—65%，有些幼苗出现生长受严重抑制或出现叶片卷曲或纵裂，不少植株分蘖剧增。L₂代共8160株中出现变异比L₁显著，出现植株变高或变矮，最矮的变异株仅20公分，约15%单株分蘖比对照显著增加（均为有效分蘖，而L₁均为无效分蘖，增多不完全一样）。（2）用剂量为125焦耳/厘米²×2秒的CO₂激光处理玉米干种子，出苗率约50%。当代出现不少幼苗生长受抑制，表现矮小、叶片变细；有些幼苗叶片纵裂、扭曲，另外有些幼苗分蘖剧增。成熟时在南55—1自交系小区内发现株矮化多果穗变异株，其节间缩短、果穗多达5个。（3）对氩离子和CO₂激光照射的小麦进行了细胞学观察，统计了根尖细胞分裂时各种畸变类型和百分率，发现比对照提高8~9倍（见表），从而表明激光能诱变可遗传的变异。

激 光 照 射 后 小 麦 根 尖 染 色 体 的 畸 变

激光种类	剂 量	统计损失数	有丝分裂细胞数	染色体畸变数	畸变百分率 (%)	畸 变 类 型					
						落后染色体	单桥	双桥	三桥	断片	桥和断片
对 照	0	20	3902	12	0.38	0	8	2	0	0	2
CO ₂ 激光	31焦耳/厘米 ² ×1秒	20	3831	105	3.70	0	76	19	4	0	6
氩 激 光	8 焦耳/厘米 ² ×9秒	20	3722	93	2.50	3	55	9	2	21	2

吉林省白城地区农科所报导，于1974年才开始用CO₂（扩散后光斑直径4厘米，平均辐射功率7瓦/厘米²）和无机液体（剂量为2焦耳/厘米²、5焦耳/厘米²、10焦耳/厘米²、15焦耳/厘米²）激光对谷子（“长毛小米”、“60日”、“白沙977”三个品种）的诱变育种研究。由于当年到海南岛进行了加代（L₂代）培育，目前已获得了L₃代的材料和试验数据，并且取得了较为显著的成果。试验结果（1）激光处理当代产生变异，如秆变高变矮，熟期提早（8~10天），穗型变纺锤型和卵圆型等。L₂代出现突变和分离。（2）经二年3代的观察，发现变异性状能够遗传。（3）且

易于稳定，这对缩短育种年限开辟了一个新的途径。（4）已基本选育出一些优良的变异性状稳定的L₃代品系，计划再观察一、二代，如性状继续稳定即升入鉴定圃，进行产量鉴定。

复旦大学生物系遗传组报导，曾以“早熟3号”大麦为材料，用N₂、CO₂、氩—镭和无机液体等四种激光器以不同剂量处理了干、湿两种种子。实验结果（1）大部分激光处理均能促进发芽和幼苗生长，这种趋向表明激光可缩短生育期。（2）观察了各处理的根尖细胞分裂图象。发现各类激光均能引起细胞分裂异常并导致花粉败育，从而为激光引起作物变异确

定了物质基础,为育种开辟了新的途径。(3)处理干种子和湿种子所得结果不同,总的来说,处理湿种子比处理干种子影响大,表现在发芽率、苗长、花粉败育、空瘪率等指标上。(4)激光的波长和能量对处理的种子均有影响,但波长的影响比能量的影响更大。如 N_2 激光的波长3371埃(紫外光),氩—镉激光波长4416埃(兰紫光),无机液体和 CO_2 激光波长约为10600埃(远红外)。其中,以 N_2 激光处理种子所引起的变化最显著。如 N_2 激光功率为2.7焦耳,处理15分钟,败育花粉有630.32%;无机液体2.25KV照射时的功率却是5焦耳,而败育花粉只有15.97%。其他指标如四核细胞等均可看到类似情况。这些现象的出现,可能和DNA的吸收波长相对接近的缘故。(5)单从能量看,相同波长的激光,其能量增加则效应也大。

在动物方面,吉林蚕科所、广东农林学院、西南蚕科所等单位曾用玻璃、氩离子、氩—氦等激光器照射蚕卵或蚕蛹后,家蚕丝量一般增产3—5%,高的达13—19%;蓖麻蚕增产5—7%,高的达14%;柞蚕增产20%。例如吉林省蚕科所于1974年曾用波长为1.06微米的钕玻璃激光脉冲一次处理柞蚕和桑蚕的试验。据报导,(1)能量密度4.7焦耳/厘米²~5.4焦耳/厘米²,特别是4.7焦耳/厘米²的激光处理在18℃以下,感温50—60小时的柞蚕卵对蚕儿生长发育有良好效用,而且有一定的促进增产增丝作用。用能量密度3.2焦耳/厘米²的激光处理与上述同样感温程度的柞蚕卵,能使蚕儿孵化率有所提高。(2)照射桑蚕卵使用的能量密度春蚕期用3—12焦耳/厘米²照射。以3焦耳/厘米²较好,而秋蚕期用1~6焦耳/厘米²照射,以1焦耳/厘米²为好。适当剂量的激光照射蚕卵有提高孵化率和茧质的作用,并且有使蚕体增大的倾向。

广东农林学院1973年开始用氩离子激光照射蓖麻蚕卵,变异率高达50—68%,变异形质当代已出现,而 L_2 代出现变异更多,如蛾翅底色由原来褐色变黑色,血液原为黄色变淡黄到白色,卵色由原来淡黄色处理后变白色,尤其茧丝处理当代即增产13%左右,且出现较多稀见的闭口茧,变异率达4%,其中一些变异形质经定向选育后,能够遗传和稳定下来。通过12代的观察和选育,已初步选出了一些与亲本显著不同而经济性状较好的新品种,现在已培育到 L_{13} 代。

我们从1973年开始,在我校物理系光学教研室同志们的的大力支持与密切配合下,先后应用氩离子、 CO_2 和 N_2 激光器对水稻种子进行多次辐照,开展了激光诱变育种的试验。现将试验初步结果汇报于下。

实验材料与方法

水稻品种:1973用于照射的品种是科外选(1973年上半年我系农民教师从科六(即IR—8)水稻中选出的一个单穗后代),株型中矮秆、穗大粒多、谷粒长形。1974年早造用的品种是科外选、珍珠矮11号(推广面积很广的老品种,遗传性较稳定)。1975年早造除用科外选、珍珠矮11号外还有穗郊粘,晚造用的是IR—1529——680—3、桂香、化晚一号、秋二矮、秋二早、2150、黑糯。

激光器:1973年用氩激光器,光色兰绿光,波长4880及5145埃,输出功率0.5~0.8瓦,距离光源1米,光斑直径1厘米,辐照功率密度0.625~1瓦/厘米²;1974年用功率密度为0.125瓦/厘米²氩激光和功率密度为42瓦/厘米²的聚焦氩激光; CO_2 激光器,红外光、波长10.6微米,光斑半径0.5厘米,辐照功率密度为20瓦/厘米²;1975年早、晚造增用 N_2 激光器,紫外光、波长3371埃,输出单脉冲能量纯氮时为0.006焦耳,空气(含氮78.1%)时为0.002焦耳,单脉冲峰值功率纯氮时为0.6兆瓦,空气时为0.2兆瓦,脉冲重复频率约为10~12次/秒,距光源15—20厘米处光斑面积为 0.6×1.5 厘米²,激光照射的平均功率密度纯 N_2 时约为66—80毫瓦/厘米²,空气时为22—26毫瓦/厘米²。晚造照射工作气体全部用纯 N_2 ,输出单脉冲能量为0.01焦耳,单脉冲峰值功率约为1兆瓦,脉冲重复频率为3—4次/秒,光斑面积与早造同。照射平均功率密度约为33—44毫瓦/厘米²。

照射方法:种子先经消毒,分别用浸种后24、48、72以及96、120小时的湿种子及催芽至刚露白和胚芽鞘已伸出的种子进行照射。氩离子照射时,用直径0.5厘米橡皮圈将种子并列圈成一束,每束5—8粒,种胚均向着光源固定在木板上,竖于离光源1米处,使光束直射全部种胚; CO_2 激光器则采用自控时间转盘仪插上种子,种胚向光源,逐粒照射。 N_2 激光照射,用长方形的厚纸板或泡沫塑料板,按一定间隔在光斑 0.6×1.5 厘米²面积内各钻两排(上下两排,每排4—5个)可插入湿谷粒的小孔,将供试种子对胚端插入孔内,胚露于孔外,每组(上下两排8—10粒)种子的种胚向内相对,照射时,将此种插种板插入一壁按光斑面积开有照射窗的纸制夹套内,使激光直射于照射窗固定好位置,然后依次将各组种子推移至照射窗范围内暴露于激光中进行定时照射。

照射组合:1973年用氩激光处理时间为5秒与2、5、10、20、30、60分钟;74年用氩激光照射时间为20、30、45、60分钟,氩激光聚焦照射时间为5、28、30、32、35分钟; CO_2 激光处理时间为

1.5、2.5、3、4、5秒及对照组；75年氩离子、CO₂照射组合基本同74年，N₂激光照射时间为3、5、10、20、30分钟及对照组。照射后即将种子置于有湿滤纸的培养皿中，放在26℃温箱内或差不多的室温下继续催芽，然后沙培或植于摒除了混杂的土壤。田间管理基本一致。观察各代生长发育及各个性状的变异情况。

1973年，早造用氩离子处理的各组材料大多数采用单株收种，晚造以株系分小区栽种第二代（L₂）。1974年春将第二代选下的变异株或经济性状较好的小区收获种子继续栽培L₃代，在72个小区进行综合考种，其中有的材料（126号）试验面积较大，1974年秋再安排了25个小区激光处理的L₄代，继续进行考察并选出了四个品系进行生产性试验，75年早造开始在人民公社由贫下中农试种与鉴定。

74年早造用氩、CO₂激光照射的各组材料，分主穗收，分蘖穗混合单株收，晚造分穗系和株系插植第二代。统计各种处理的突变频率，以及分别将变异株或经济性状好的单株选留，共选留71个株号（其中珍珠矮39个株号、科外选32个株号），于1975年早造插植L₃代；今年早造继续进行综合观察和选育的结果，共选留43个株系，于晚造插植（L₄）。

75年照射材料，田间试验如1974年，故不另述。

试验初步结果

1、激光照射水稻种子对L₁代生长发育的影响。73年氩激光照射水稻湿种子和萌动种子以及74、75年的试验，在试验剂量范围内均未发现胚芽生长和幼苗出现明显损伤或致死现象。照射30分钟以内的组合，大多数对当代（L₁）胚芽生长发育均有促进作用，在照射后20天内幼苗长得比对照快，植株抽穗日期也比对照早；而露白种子照射60分钟的则有抑制现象，在照射20天内幼苗长得比对照慢，植株抽穗也比对照迟。浸种不同时间或聚焦加大功率照射下则有差异。三年来，氩激光照射水稻种子的试验，仅有73年浸种后30小时的湿种，照射20分钟组合19株中有一株出现当代变异，植株比对照稍矮、谷粒由科外选的长粒变为类似珍珠矮的粒型，而且提早抽穗（5月26日，对照6月1日）。

74年CO₂激光照射科外选、珍珠矮11号曾出现不同程度的损伤和致死效应。当珍珠矮11号照射时间为1.5秒（浸种25小时后照射）时，即有12.5%致死和因损伤导致有根无芽、有芽无根及多胚根等萌发异常情况，而科外选当处理时间为2.6秒时才开始有致死作用（死亡率为11.9%），尚无萌芽异常。随着照射时间的增加，致死率也相应提高；科外选处理3秒的致死

率为20.8%，处理4秒的死亡率达75.9%，可见其半致死剂量在3秒至4秒之间，在此范围内死亡率有很大增加。而“珍珠矮11号”则在处理2.5秒时即已达半致死剂量（死亡率50.4%）。这一结果可供参考。此外“珍珠矮11号”照射时间同为1.5秒，但浸种时间不同的两组之间，浸种49小时后照射的，死亡率28.3%，比浸种25小时照射的死亡率12.5%，致死率增大1倍，萌发异常情况亦多，可见对CO₂激光来说，如在1.5秒内浸种时间适当延长比浸种时间短的敏感性高，这一点亦可供今后试验的参考。

CO₂激光照射当代，科外选1.5秒和5秒的组合中，出现有1株矮小、叶略细、分蘖少（1—2分蘖）和延迟抽穗（至7月2日尚未抽穗）的畸型株，珍珠矮11号一些组合也出现有生长正常但延迟抽穗的植株，认为是激光照射损伤的表现。

N₂激光器照射水稻种子，在“珍珠矮11号”浸种后72和96小时，以平均功率密度22—26毫瓦/厘米²照射20分钟，“科外选”浸种后48小时，以平均功率密度22—26毫瓦/厘米²和66—80毫瓦/厘米²照射20分钟的组合，于照射后15—20天内陆续有20%的幼苗死亡，其他组合虽有一些死亡，但为数极少，这是引起我们注意的现象之一。此外当代出现畸变的情况有：

“珍珠矮11号”浸种后96小时，以平均功率密度22—26毫瓦/厘米²照射20分钟组、“科外选”浸种后48小时，以平均功率密度66—80毫瓦/厘米²照射30分钟组均出现有芽无根现象，与上述CO₂激光处理出现的情况类似；科外选浸种48小时，以平均功率密度22—26毫瓦/厘米²照射30分钟、66—80毫瓦/厘米²照射3、5、20分钟组合个别株出现白化苗，珍珠矮11号浸种72小时，以平均功率密度22—26毫瓦/厘米²照射20分钟组，8株中出现一株黄化苗；科外选浸种48小时，以平均功率密度22—26毫瓦/厘米²照射5分钟，以平均功率密度66—80毫瓦/厘米²照射30分钟，“珍珠矮11号”浸种后72小时，以平均功率密度22—26毫瓦/厘米²照射10、20分钟等组合，出现幼苗的第三完全叶前端夹于第二完全叶鞘内而弯曲成圈状，“科外选”照射30分钟一组8株中有3株出现此现象；在“珍珠矮11号”浸种后72小时，以平均功率密度22—26毫瓦/厘米²照射5分钟组内，成长的6株中有1株于主穗的颈节上生出2条扭卷成细长筒状叶。长度为12.7厘米和10.7厘米，相对分别于穗的两边，该穗长19.8厘米，其剑叶长58厘米，宽1.5厘米，比其他株的剑叶长1.5倍以上；“穗郊占”浸种后96小时，以平均功率密度22—26毫瓦/厘米²照射10分钟组内，成长9株中有3株同样出现畸型叶增生现象；“珍珠矮11号”浸种后72小时，以平均功率密度22—26毫瓦/厘米²照

射5分钟组的6株中出现一株特矮株,株高仅35.5厘米,叶外形均无异常,结实、谷粒比原来的小,于晚造播种L₂代时,除萌发比对照迟3—5天外,幼苗期生长无明显异常情况,晚造试验组合中,于照射后15天内观察到:“秋二早”浸种后96小时,以平均功率密度33~34毫瓦/厘米²照射5分钟组的9株中出现一株第一、二完全叶前端有白条纹,照射10分钟的9株中出现一株第三、四完全叶前端夹于第一完全叶鞘内,弯曲成圈状,且出现一谷三苗的情况,三条苗的叶鞘和高度均比对照及同组其他植株少而矮。

2、L₂代出现变异及其后代选育情况,用氩离子、CO₂激光照射水稻,L₂代出现的变异有:

生育期变异 氩激光照射科外选萌动种子60分钟组5个小组364株中出现13株比对照穗提早1—7天,湿种子20分钟L₁代提早抽穗6天的单株后代,有的提早抽穗10天。CO₂激光照射科外选萌动种子4秒组中有一株抽穗期(5月11日)比对照(5月25日)早14天,照射“珍珠矮11号”1.5秒组中有的抽穗(5月11日)比对照(5月28日)早17天,有的早13天。类似这些早熟性单株或单穗选下后代一般皆提早成熟。但氩、CO₂激光照射L₂代也有少数出现延迟抽穗的。我们从氩激光照射科外选湿种子20分钟提早抽穗的单株后代选出一个品系。L₃代早造生育期110天,比科外选提早20天左右,不过米质降低,株型过于紧凑,易感染纹枯病,结实率不高,有早收尸现象,产量500多斤,有待进一步改进。

穗型与粒数的变异 根据数理统计,分析氩激光处理30分钟和60分钟L₂代32个小区的主穗长度和穗粒数变异的情况,各小区随机取样30株与对照平均

数标准误差按 $S\bar{X}_1 - \bar{X}_2 = S \sqrt{\frac{N_1 + N_2}{N_1 N_2}}$ 公式计算,

然后按两均数相差之t值公式: $t = \frac{X_1 - X_2}{S\bar{X}_1 - \bar{X}_2}$ 求出t

值。其统计结果:60分钟群体主穗长度16个小区中第1区t=2.065,30分钟群体16个小区中第20区t=2.18,第31小区t=3.11,穗粒数第31小区t=3.40,P值均小于5%,说明在L₂中这些小区的主穗长度与穗粒数的变异是显著的,激光照射能诱发遗传性的变异。

粒型变异 “科外选”粒型长窄,浅黄褐色。在20分钟照射湿种子组的一个单株L₁出现粒型短而稍扁,谷壳黄白色,比对照早熟。类似珍珠矮的类型,但腹面较珍珠矮小。这一单株后代L₂群体熟期进一步提早而且穗的每一枝梗顶端第一、二粒谷接近重迭,CO₂激光照射科外选4秒组合中93株中L₂代出现有中长粒和珍珠矮粒型的植株,5秒组合中有一株出现长大粒(比原来“科外选”长0.3公分)有短芒或无芒,结实率低(40多粒仅结7粒);CO₂激光照射珍珠矮1.5秒组L₂代300多株中,出现三株种子由原来短阔变中长(比原来长0.2公分),其L₃代则出现特长粒、长粒、中粒型,且分别具有中芒、长芒和无芒,最早的始穗期比对照提早17天,株型则如珍珠矮11号。其L₄代粒型仍有分离,目前正继续从中选育粒长和早熟品系。

株型矮化 氩激光照射“科外选”的各个组合都出现有略矮株(由原来90多公分矮至90公分以下),CO₂激光处理珍珠矮1.5秒组则出现有特矮株和矮株。

米质变异 从氩激光照射科外选经L₂、L₃代选出株型稍矮、抽穗较齐一,生育期稍短(L₃代全生育期124天,科外选130天)的三个品系27、28、29号1974年晚造经省粮食局鉴定为一级米,蛋白质含量初步测定为:科外选7.8%,科27为10%,科28为10%,科29为11.25%比对照提高2%左右。1975年早造在农场、人民公社试种产量如下表:

单 位	品 系	种植面积(亩)	实收产量(斤)	折合亩产斤	备 注
博罗县铁场公社南下大队第二生产队	科28号	0.45	342	760	同一田间管理的“铁大”亩产580斤
珠江农场	科27号	0.304	178.7	587.8	该场珍珠矮11号亩产626.2斤
农 科 站	科28号	0.298	195.5	656	
	科29号	0.293	189.8	647.7	
梅县程江公社长雄大队滩下四队	科28号	0.30	229	750	珍珠矮亩产650斤

但在另一些地区试种,则表现不抗病虫害,这可能是较严重的缺点。

叶形与叶色素的变异 氩激光处理30、60分钟的

L₂中,出现有剑叶缩短与皱卷的畸型,并有全株或个别分蘖出现叶、叶鞘黄白条纹的变异,但这些后代都不遗传。CO₂激光照射珍珠矮2.8秒组中L₃出现黄白条

纹叶，甚至有14粒子浅黄色边有绿色带。CO₂激光照射科外选萌动种子5秒组中，一个单穗L₂代92株中有一株全部5个分蘖的倒数第3片叶顶端约1/4处出现相同的10多条无叶绿素的白色横格纹，愈接近叶尖横纹间隔愈密，结实率和种子发芽率皆很低，这一变异则是可以遗传的，其L₃代三株有两株同样出现横格纹。

L₂代突变率：1974年晚造，我们分析了氩激光照射科外选L₂代的突变率为：聚焦氩激光处理28分钟的突变率总数达8.32%，为对照自然突变率总数的11.5倍，氩激光不聚焦功率密度0.125瓦/厘米²处理20分钟其突变率为3.45%，为对照的4倍多，处理30分钟的为对照的两倍多，处理时间过短则没有什么作用。

分析和讨论

1、氩离子、CO₂、N₂三种激光器，在我们试验照射的功率范围内，诱发水稻遗传性变异，氩激光功率密度0.625瓦/厘米²，照射湿种子和萌动种子照射时间在20分钟以上较为有效，CO₂激光功率密度20瓦/厘米²，照射时间以1.5~5秒为宜。N₂激光从当代出现的诱变效应来看，以照射5~10分钟为宜。

2、水稻种子不同状态对激光的敏感性不同，干种子不如湿种子，萌动种子较敏感。浸种后50小时左右照射诱变效应较大，如CO₂激光处理珍珠矮11号浸种后49小时照射1.5秒组，不仅比浸种后24小时同一照射时间的致死率增大1倍，且其L₂代376株中有3株由原来的扁粒变为中长粒，而且L₃代熟期有的比对照提早14~17天，这可能与胚的生长发育开始进入DNA合成高峰期有关。

3、氩激光照射，有的至L₄代才有变异产生。如73年科外选照射30分钟组的单株后代，从74年早造L₃代中选的是个单穗，在晚造播种L₄代时，445株中出现4株突变株，熟期比对照提早21~22天，穗粒致密、粒型变短（中长）、穗顶部枝梗谷粒成对生着，甚至有个别穗的不同部位小穗梗上轮生2~5粒种子的现象，并且有双重外颖出现。这就为激光育种提出需要注意的一个问题。

4、激光照射水稻种子，当代出现的变异，大多属于损伤效应，但其中有的则是可以遗传的，如熟期、粒型，这就需要通过实践加以区分，以期提高育种成效。

此外，如上所述，广东农林学院以蓖麻蚕为材料，四川西南农学院以家蚕为材料，吉林农大等兄弟单位先后以小麦、谷子等为材料，分别证明了激光诱变能引起遗传变异的产生。

由上看来，虽然激光诱变育种的工作仍处于探索

阶段，目前对于激光诱变育种的最有效波段、处理能量及植株的最佳状态等许多问题仍有待于进一步了解，但激光诱变育种工作已证明是有效的，问题是要进一步确定其优点与特点，以便进一步地在农业实践中加以合理的和充分的应用。

但是，为什么过去的激光处理能引起植物产生遗传变异呢？我们知道：生物体之所以能代代相传，对于大多数生物来说，它们依靠的物质桥梁是一个小小的细胞——受精卵，而受精卵上的遗传因子（或基因）主要存在于染色体上，故染色体的变异往往是引起后代变异的一个前提。激光到底是否能够引起染色体的变异呢？过去有人曾报导过：在激光的作用下能引起动物培养细胞和洋葱幼芽细胞的染色体畸变。为了明确激光育种遗传效应的机理，在1974年我们较系统地观察了CO₂激光对染色体作用，观察到在激光的作用下能引起染色体桥、落后染色体、不均等分裂、微核、多分子等染色体畸变，其中尤以染色体胶连现象特别明显，而且诱变率较高（可达50%以上）。此后，南开大学生物系、哈尔滨师范学院生物系、吉林农大等单位也获得了类似的结果。有关激光对细胞染色体作用的实验结果的一致性，使得我们在今后的遗传育种工作进一步应用激光这一先进技术的看法更为明确。

另外，随着微束激光的出现，给细胞和染色体动手术有了可能，这就给细胞遗传学的研究和育种工作开创了新的途径。国外已经开展了这方面的研究工作，如英国采用的一种微束激光系统，使用峰值功率为35瓦的氩离子激光器，其装置能聚焦到0.25微米，可以将包含有遗传信息的染色体在结构上和功率上部分地切除，也可将蛋白质或DNA部分除去或两者皆除去，以研究它们对遗传的影响。近代细胞学研究已经证明，植物细胞具有全能的潜势，即植物组织的单个细胞或原生单质体，在人工合成培养基上具有发育成完整而正常的植株的能力，这样，应用微束激光与细胞培养相结合，如使植物组织的某一细胞的某一染色体整个或部分切除，然后繁殖这个细胞，培养成新的植株，就可能定向地改变生物细胞的遗传特性，从而有希望创造作物的新品种。

不仅如此，还可以利用微束激光，去除某些细胞器（如叶绿体、线粒体、微粒体等），以研究细胞质及各种细胞器的遗传功能。总之，微束激光将成为“遗传工程学”的一种重要手段。

（三）防治害虫

1965年，加拿大开始研究用激光控制害虫，目前已研究了激光辐射对8种昆虫的作用。

利用高能激光可以破坏害虫的某一个或几个发育

时期(卵、幼虫、蛹、成虫)。如采用具有大直径光束的轻便激光器或将19—20个小直径光束的激光器排成一排,照射一块大田作物,以杀死害虫。在使用前应先找出对害虫致死的有效波长和剂量,以使激光器发射出的波长刚好是所要防治害虫的表皮色素层的最高吸收水平。

利用激光作诱捕器是有效的方法,由于昆虫的复眼对各种光波的鉴别能力极强,因此可以利用能够调节的激光器将害虫诱入陷阱。

(四) 在农业基础科学研究中的应用

激光技术在农业基础科学中的应用,将使这方面的研究提高到一个新的水平,带来新的飞跃。如微束照射和全息显微术将成为细胞学、遗传学和植物生理学的重要研究工具。

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,可是细胞的大小一般只有几个微米至几十微米,染色体的结构就更加精密,使用一般的工具是无法达到的。激光是一种相干性好而且容易被聚焦的光束,从理论上讲,它的光束直径可聚焦到其波长的一半。例如,红宝石的激光的波长为0.6943微米,那么就可聚焦到0.35微米。可见利用聚焦后的微激光束,就能够对细胞和染色体动手术,

进行局部分解,以研究它们各组成部分的功能和相互制约的关系。

全息照相是利用激光所具有的干涉与辐射特性来记录和重现的全部信息,它所重现的象是物体的真实对照,不仅显现出物体的立体特性,而且对物体的超精细结构部分亦一览无遗,因此它在科学研究中有广泛的用途。例如对作物喷洒杀虫剂的部位,系统持续的定时拍摄全息照片,可观察任何部位的细节,害虫的死亡过程连同动作都清晰可见,从而能精确研究杀虫剂对害虫的作用情况(性质、颗粒大小对效力的影响),为进一步改进杀虫剂提供资料。

在普通光学显微镜下的生物组织,只限于在物镜焦面的范围内,作固定的平面观察。可以预见,将来以X波段拍摄的细胞全息图,用可见光重现时,可使象放大万倍,从而可观察到生物细胞在空间的形态和活动,使我们能够按照本来的面貌去研究它。

激光的单色性,为进一步研究光对植物生长的影响,从而解决直接影响作物丰产的光合作用这一重要课题,提供了有利条件。

此外,利用激光进行超微量分析,还可分析植物有机体甚至单细胞或细胞核中元素的种类和含量,灵敏度可达到 10^{-14} — 10^{-18} 克。

激光在生物学研究中的应用*

本文讨论有关激光器在实验生物学中广泛应用的可能性问题,作者主要注意力放在分析激光辐射对生物体作用的可能的机制上。

最近几年,电磁辐射同活的有机体的相互作用问题引起很多国家的学者越来越大的关注。在这方面特别重要的是对红外线、可见光及紫外线的作用机制的研究。根据目前所积累的资料,可以认为,植物和动物有机体能够通过利用光量子的能量实现某些反应,其中研究最多的是光合作用,视觉(Зрение)和光重激活过程,以及光周期现象,向光性,趋光性反应,等等。这些光过程按照分类学原理和进化原理,是不同的有机体所特有的,通常对每一过程,由严格的特种的生物结构实现。但目前研究者并不限于研究进化的复合光过程的机制和本质,同时也研究光(其中包

括新的光源——激光器发出的激光)同早先通常认为对光完全不敏感的那些有机体的相互作用问题,显然,以上列举的光过程有很多共同的特点,这些特点主要表现在初始阶段,并且,在许多情况下与大量光化学作用相一致。(Теренин, 1967)。本文讨论激光辐射同生物体系相互作用的某些特点及其应用前景。由于在所讨论的情况下,一般地说,激光辐射的作用不是别的,正和促进一定的光化学反应的光的作用一样,我们有必要简略地谈谈初始光过程的基本规律性。

首先我们认为,充作反应敏化剂作用的色素分子

* “об использовании лазеров в биологических исследованиях”, Л. Б. Рубин, «Успех. Соврем. Биол.», 1969, ТОМ, 7, No 2, 222—234王寿祥译 丁元树、更琴、浩学校

必须存在于生物体系中是属于那些规律性之一。这种分子吸收了光将引起其光激发并跃迁到寿命为 10^{-10} — 10^{-7} 秒的单线激发态。色素分子可以由该态跃迁到基态，发射荧光量子，并能够经受向三重态的亚稳态的变换，该亚稳态与单态的不同在于有显著长的寿命（ 10^{-6} — 10 秒）和大的反应性能。随着发射磷光量子或者由于无辐射的去活作用，分子由三重态跃迁到基态。处于电子激发状态下的色素分子在化学方面变得较活泼，它能够参与基能级分子不能参与的各种化学反应。这些反应的速度同单态和三重态的去活作用速度可相比拟。在处于单激发态的分子参加反应的情况下，应预期有特别大的反应速度；而三重态分子参加的反应只有不大的效应，因为它具有双原子团的特性。因此，光化学反应不仅可以由处于单态的分子产生，而且也可以由处于三重激发能级的分子产生。但是，不能完全排除单线的第二激发态和三重态参加反应的可能性（Турро, 1967）。同时，吸收光的色素分子远不能总都是自己直接进入光化学反应。在一系列情况下，激发能量通过迁移的途径转移到另一中心。这个过程广泛地存在于生物体系中。例如，在光合作用里，极有效地实现了电子激发能量从并发的色素到植物的基本色素——叶绿素的感应共振转移。在光合作用单元的范围，色素分子间的激发能的连续转移发生在它进入《陷阱》——反应中心的瞬时之前。关于能量沿蛋白质分子转移的可能性的资料是很重要的（Владимиров, 1965），因为蛋白质同类脂化合物一样，乃是细胞和亚细胞膜的基础。在这些条件下，光激发的能量可以转移到离光的初次吸收的点很远的距离处，并引起相应的效应。综合目前已知的资料，可以认为，对于所有的光生物学过程都具有如下的特征：色素分子的光吸收，光激发，分子内能级之间的跃迁，能量向反应中心的转移。毫无疑问，光过程的初级阶段的特性在种种方面决定它们的最后的效率，可是，细胞代谢活性的总的程度，这时亦起着相当重要的作用。

研究光化学反应的基本途径之一在于改变光作用的条件。其中有改变光闪烁的持续时间、光的能量、功率、功率密度等等。在这些实验里得到的结果，可以研究初级光反应动力学的规律性及各个阶段的特性。

脉冲光谱学的方法是研究快速进行的光反应机制的最有效、最有前途的方法之一，这时所研究的物体被瞬时的强闪光照射，在这种闪光的作用下，在物体内部对这一系统产生过剩的、不平衡的初级光产物的积累。通过物体的作测量用的光，可以拍摄这些光产物的吸收光谱，光产物的积累及以后的化学变化的动力

学。利用脉冲光谱学方法（Grossweiner, 1966）曾使一些作者获得反应时间从 10^{-9} 到 10^{-1} 秒的快速进行的光化学反应的动力学更为完整和精确的资料。然而，在更为迅速的光反应的动力学方面研究的进展，首先被缺乏用于这种目的的、能在短时间间隔（ 10^{-9} — 10^{-6} 秒）内发射强的光通量所必需的光源所阻碍。利用这种光源，不仅可以研究光反应的最快阶段（ 10^{-9} — 10^{-6} 秒）的动力学，而且能够着手研究强而短的光脉冲同生物体相互作用的特性。

在50年代末，强的单色光源——激光器——的出现，开创了这方面的广阔的可能性。现在简单地谈谈这种新光源的基本作用原理和某些技术特性。激光器是这样一种技术装置，它由于受激发原子和分子的受激辐射而或者能放大光波，或者能产生光频相干辐射。按其本质，受激辐射的过程作为被激发的原子或分子间电磁波相互作用的结果是光吸收的逆过程。当处于激发态的原子数超过处于基态的原子数时，便产生受激辐射；这样的系统称为粒子数反转状态。用持续时间不超过原子和分子在激发态的寿命的强的光脉冲照射原子或分子系统时，便能在技术上实现粒子数反转状态。如果把这种系统放置在两块反射镜之间，则作为受激原子和分子自发辐射的结果而出现的光波，将在多次通过系统并在两镜之间多次反射之后而得到放大，倘若这种放大作用超过反射时的损耗，便产生相干电磁振荡。若用一块半透明镜置换一块反射镜，就能得到光辐射的输出。在所获得的光束的基本特性中，首先应该指出辐射的高度单色性。红宝石脉冲激光器，在自由振荡的情况下的辐射的光谱宽度分别为200埃和10埃。必要时，辐射的光谱宽度可以减小到千分之几埃。激光器发射的光是具有高度方向性的。从半透明镜整个表面射出的光波都可以是相干的。因此，在这种情况下，辐射可以看成是平面波，其发散角基本上由衍射所决定，数量级为 λ/D ，这里， λ 为辐射的波长， D 为活性媒质的直径。这种不大的发散度能将光线聚成尺寸为 $\lambda/2$ 的斑点。这表明，在可见光谱的范围内完全可获得大小为 $3 \cdot 10^{-6}$ 厘米或0.3微米的光斑。

激光器可以按光辐射的持续时间分为连续的和脉冲的两类。气体激光器，如惰性气体——氖、氦、氩，二氧化碳激光器等主要属于第一类。这些激光器的辐射集中在可见和红外光谱区域，通常，其功率约几十毫瓦和几瓦。二氧化碳和氮激光器除外。二氧化碳激光器的辐射波长为10.6微米，平均功率已达到几千瓦。工作在波长为3371埃的紫外光谱区域、脉冲重复频率为10赫兹的氮激光器，具有的平均功率为20毫瓦。

以脉冲状态工作的激光器，目前最常见的是辐射波长为6943埃的红宝石激光器和10600埃的钕玻璃激光器。在自由振荡状况下，这些激光器的光辐射的总持续时间约为几毫秒，这时辐射能量为100—200焦耳。实际上，在自由振荡状况下，激光器的光脉冲是由大量的脉冲持续时间不超过几分之一微秒的单个脉冲组成的。工作在自由振荡状况下的激光器，主要用来获得大的辐射能（焦耳）。但是，为了解决一系列物理学问题，起着决定作用的，不是辐射能量，而是它的功率密度——单位时间内通过单位表面积的能量数量。利用调Q激光器（McClung, Hellwarth, 1963）能将光辐射的持续时间缩短到 10^{-8} — 10^{-9} 秒，这使辐射的功率密度急剧增加，目前已达到每平方米几百兆瓦。同时，功率密度同光波的电场矢量的振幅直接联系着：

$$S = \frac{P}{\sigma} = \frac{Cn}{8\pi} A^2,$$

其中，S为功率密度，P为功率， σ 为被照的表面积，C为光速，n为物质对给定波长的光波的折射率，A为电场强度振幅。例如，在辐射能量10焦耳、闪光的持续时间 10^{-8} 秒时，辐射功率达 10^9 瓦数量级；将这种辐射聚焦在1平方厘米的表面上，则给出 10^9 瓦/厘米²的功率密度值，这相应于被照表面的电场强度为 10^6 伏/厘米。若将同样的光线聚焦在1平方毫米的面积上，则功率密度达到数量级 10^{11} 瓦/厘米²，而场强则增加到 10^7 伏/厘米。这时，在量子能量 $h\nu = 1.8$ 电子伏特的红宝石激光器的辐射的情况下，通过1平方毫米面积上的光通量强度达到 $F = 10^{30}$ （厘米⁻²·秒⁻¹）的数量级。研究强的光通量同非线性晶体的相互作用，曾导致谐波振荡效应（Franken等人，1961）的发现——在晶体的输出端出现频率为基本辐射频率的倍数的相干光脉冲。利用这个效应，大大地扩大了发生振荡的光的波长数目，而主要的，能在绿光和紫外光谱区域获得强的辐射光源。目前，在实验物理学中广泛应用钕玻璃激光器的波长为5300埃的第二谐波，3533埃的第三谐波，2650埃的第四谐波及红宝石激光器的波长为3470埃的第二谐波。

最近几年已建成了所谓的有机染料激光器（Sorokin, Lankard, 1966）。在同染料荧光带相符合的宽广的光谱区域内，特别注意到这种类型激光器的辐射，用调Q的基本的激光器发出的光短脉冲照射染料溶液时，便产生了这种辐射。将染料溶液放入被调谐到荧光带区域内的一种频率的光学谐振腔里，可以在谐振腔输出端得到光谱宽度从1埃到100埃的光脉冲。利用谐振腔内的衍射光栅能将辐射的光谱宽度缩小到0.6埃（Soffer, McFarland, 1967）。如果

谐振腔的结构能够平稳地改变谐振频率，例如用转动衍射光栅或改变染料浓度的方法，则由一种激光器可能得到整个一组辐射频率。换句话说，制造从短的紫外到红外光谱区域的辐射频率可调的激光器问题，在目前已成为完全现实的。建立可调辐射频率的激光器还有另一些方法，例如，建立参量振荡器（Ахманов, Хохлов, 1966, 1967），但是，这里我们不予讨论。技术上解决这个问题对于生物学研究是非常重要的，因为目前在生物体的光谱学里所利用的主要波段为2000埃到10000埃。选择上述的光谱区域，主要是根据包含在动植物组织里的复杂有机分子的电子吸收光谱的结构资料。

所以，目前在研究工作中存在着利用以高单色性、相干性，大能量，大功率和功率密度以及光作用的短的持续时间为特征的新光源——激光器的可能性。激光器为在电子学，工程学，新形式的无线电通讯和远距离通讯，雷达学等等方面的应用开拓了极为广阔的前景。在本文里我们仅限于讨论有关激光辐射在生物学研究中的应用远景问题。首先应指出，以我们的观点，按其作用和方法激光器在生物学中的应用可以从某些不同的方面予以实现。其中之一就是研究激光辐射同生物体系的相互作用和它对物质交换的各个方面的影响的机制和特性。此外，激光器和根据它建立的仪器，在医学和生物学中的实际应用可以认为有广阔的前景。

目前激光器在实验生物学的某些方面已获得其技术上的应用。在脉冲光谱学实验里（Chance等人，1966；Parson, 1967）利用光辐射持续时间约为30毫微秒的红宝石激光器，能得到关于最小持续时间为0.5—1微秒的光合作用的初级反应的动力学资料。实验资料的分析曾使Parson（1967）作出关于在紫细菌的光合作用里，细胞色素的光氧化作用由叶绿素菌分两阶段实现：首先发生叶绿素菌的氧化作用，而仅在第二阶段在几微秒内叶绿素菌氧化细胞色素。光合作用动力学的很多其它重要问题很可能将用这些方法解决。

显然，利用闪光时间特别短的激光器，可以大大简化测量色素分子的单激发态平均持续时间 τ_{fn} 的方法。当然，处于单态的色素分子参加光化学反应将引起发光的熄灭和 τ_{fn} 的减小。可见，研究单线激发态的消激活的动力学特性和各种化合物对它的影响，大大地扩大了我们关于光化学反应最快阶段的本质的知识。目前， τ_{fn} 用荧光技术确定。但是它也可用别的方法确定。早在1957年，Brody（1957）曾利用闪光持续时间约为 $5 \cdot 10^{-10}$ 秒的特殊的脉冲灯和超速扫描示波器，按照荧光的指数衰减曲线测量了植物体内