

发光在农业中的应用

唐 树 延

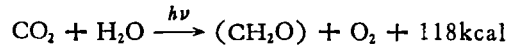
(中国科学院长春物理研究所)

本文详细地介绍了发光、光转换、荧光分析和光磁互促等物理技术在农业生产中的应用和效果。1983—1988年间,“长白山人参”增产总量达400万公斤,创经济效益2.8亿元。光磁技术在吉林省推广88万亩,共增产粮食900万公斤,蔬菜300万公斤,创收达800万元之多。黄淮海平原和京津地区的应用,正在统计之中。“光助素”增产技术属于首次提出,并处于领先地位。

当今世界,人们正探索着各种农业发展的道路,以求得生存与发展。这对人多地少的中国来说,是极为重要的。包括发光在内的农业物理技术,正是为了解决这一重大问题而提出和发展的。现已发现,植物正常的发育过程,是一个光形态建成的过程,一个需要光调控的过程^[1]。从种子萌发、幼苗生长、叶片展开和叶绿体发育一直到开花、结果都离不开光的参入调节。不同光照和不同波段的光,对于植物生长和成分形成的影响,是不一样的^[2]。增加红光照射量,会抑制侧根的发生,但却能提高作物的含糖量;增加蓝色光,会抑制叶柄伸长,但却能使作物的蛋白质含量增加。

在植物体内,光作为一种物理因素,它的作用如何呢?生物学家一直注意较少。近年来,随着光合作用机理和技术的深入研究,特别是光度学和发光学研究的深入,人们才逐步认识到作为主要食品的米、麦、菜、果等,都是经光合成系统生产出来的^[3]。光合成系统是由光系统I,II和碳同化途径这三条光合成路线构成的,据认为是由含有叶绿素的膜状类囊体构成的^[4]。光能首先将叶绿素反应活性点活化,在光系统II里,被活化了的叶绿素把电子授与电子受体,形成弱还原体,用 Q^- 表示,失去电子的成为强氧化体,用 Z^+ 表示。 Z^+ 把水氧化成 O_2 和游离的 H^+ 。在光系统I中,以同样的过程得到弱氧化体(P_{700})和强还原体(x^-),这样,电子从 x^- 经由铁氧还原蛋白 \rightarrow 黄素酶 \rightarrow NADP,生成的

NADPH的两个电子与同时生成的ATP共同作用,把 CO_2 还原成碳水化合物 CH_2O (葡萄糖)。这一光合成反应可以简单地表示如下:



把C上的一个电子从Z输送到X需要1.2eV的逆电位差,因此,最少需要两个光子,故这一光化学反应的整体效率维持在10%左右。一般地说,农业方面的净光合成(除去光合呼吸作用效率)的能量利用效率只有0.1—3%左右,如表1所示。如此低的能量也许只够维持生物体生命活动所必须的物质合成对能量的需求。

表1 美国一些植物的净能转换率
(相对于入射能的燃烧值)

植物(生长地)	风干重量 (t/a· year)	有用燃烧值 ($10^6 Btu/a \cdot$ year)	太阳能净转换率
南方松(南部)	2—5	28—70	0.1—0.3%
一般农作物(美国)	3—16	35—130	0.2—0.9%
甘蔗(佛罗里达州)	17—22	195—260	0.9—1.2%
饲料高粱(坎萨斯州)	6—17	70—195	0.3—0.9%
饲料玉米(中西部)	8—12	90—140	0.4—0.7%

根据光合作用的机理,农作物有 C_3 和 C_4 两种主要的光合类型,玉米等 C_4 作物的纯光合作用指数比 C_3 植物(小麦、大豆)高1—2倍^[5]。 C_3 植物的净效率一般在0.5—1.0%, C_4 植物在1—2.5%左右。提高光合效率,能极大地提高土地利用率和生产效率,如甜菜的光合作用效率可从2%提高到2.5%,其产量每公顷可增加7000kg,实现了产量翻番。在现代农业生产

中,能有效提高作物光能利用效率的多采用光环境改善的农用物理技术。

一、光助素的增产原理和效果

多年来,我们在研究作物光合作用原初反应光物理过程和光能吸收、传递与转换机理的基础上^[6],利用生物发光和作物生长过程中对光质的选择吸收作用,结合大田作物的需光规律,我们研制出一种高光效与高吸收功能互促的新农肥——生物增光素。简称光助素。经试验证明,光助素增产效果较为明显,大田作物一般增产 10—14%,经济作物增产 10—16%,果叶菜类可增产 15—30% 左右。这是一项能实现优质高产的农业增产措施。

1. 光助素的增产原理

光助素是以生物发光材料为主,配合掺入微量元素等构成。发光材料按下述原则进行选择:(1)要选择发光性能好、易溶、耐腐蚀的材料。(2)要选择能发射出较宽波段的可见光,并有较丰富的长波成分的发光材料,其荧光发射光谱如图 1 所示。(3)要选择的发光材料的

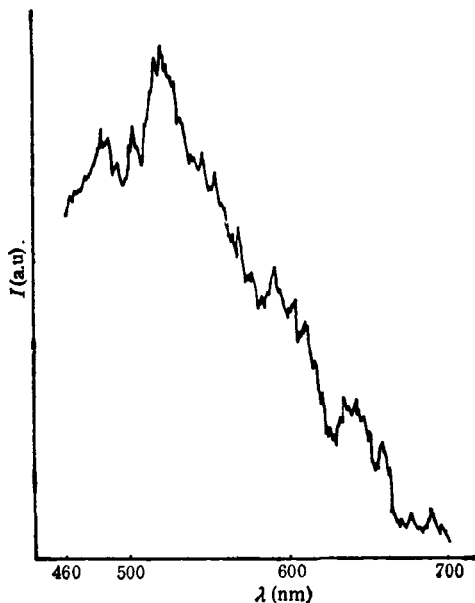


图 1 光助素的荧光发射光谱激发波长 430nm

光谱与作物叶片的吸收光谱之间应有重叠,以增强能量的共振吸收与转移。同时,这种材料还应具备来源广、效率高和价格低廉等特点。

光助素能促进作物增产,是因为它能发射出作物生长所需要的那种光,从而提高作物的光合效率,加快有效光质光形态建成的过程。特别是对阴生植物或供光不足的地方所生长的植物,它能起到补充光能和延长光照时间的作用。太阳光经过大气层到达地面时,因受地球上各种不同的气候、气象和大气污染的影响,已使长波光的光照降得很低,而该波段的光能又是植物体所必需的,因此需要设法加以补充。光助素的施用,就可起到这种作用。它能使作物光能利用得到加强,促进作物对营养的吸收过程,而微量元素是多种功能酶的激活剂,能促进叶绿素形成,使根系发达,增强代谢和吸收,结果使作物的产量和质量都得到改善和提高。

2. 光助素使用剂量的确定

为了使施用的光助素的剂量合理,我们采用多因子多水平回归旋转组合设计,数学模拟试验,选择出合理的实用条件。

3. 光助素对作物产量和质量的影响

根据吉林省榆树县 1987—1988 年试用光助素 5 万亩,共增产粮食 1.1 百万公斤,蔬菜 1 百万公斤,甜菜 2.5 百万公斤,创收入达 130 余万元。在松辽平原、黄淮海平原推广光助素近 5000 亩,试验结果是鲁麦五号平均增产 10—15%;京棉一号增产 12.5%;南皮县的梨、葡萄分别增产 13% 和 14.5%。

光助素不仅能增产,而且对产品品质也有改善。含糖量一般提高 10% 左右,蔬菜中的 V_c 含量提高 10% 以上。经化验分析,作物的各种氨基酸含量也都有增加的趋势。光助素还能促进作物早熟 3—5 天和提高抗病能力等。

光助素使用方法简便(拌种、浸种或喷施),用量少,成本低,效益大,无毒无副作用,有利于大面积应用推广。

二、光转换膜的特点与使用

光转换膜是一种新型农用功能性高分子材料。它除具有普通薄膜特点外,还具有光转换发光的特殊性能,即吸收太阳光中对农作物生长不利的紫外光,转换成作物需要的长波长光。用这种光转换膜做成的大棚,可以改善棚温、湿度、光线和空气条件,有利于农作物生长,促进早熟,使光合作用加速,从而达到增产增收的目的。这种新功能光转换发光膜可广泛地应用于寒冷地区的蔬菜栽培和水稻育秧,特别是应用于山区人参的栽培时,效果更明显。

1. 光转换膜的发光原理和材料的选择

所有金属离子都能发光,只是不同金属离子发射不同波长的光而已。能与有机高分子匹配且荧光产额高的金属离子,多属于稀土离子。当稀土离子和某些薄膜配体形成配合物后,由于配体在紫外区的吸收强,吸收紫外光后,使其电子由基态 S_0 激发到激发单重态 S_1 ,并很快经过系间窜越转变到激发三重态 T_1 。如果此三重态能级的能量与稀土离子中能发射荧光的激发态能级的能量相匹配,则可使能量有效地传递给稀土离子,使配合物发射出稀土离子的特征的荧光^[7]。

发射稀土离子特征荧光的配合物一般具有能吸收紫外光,荧光衰减寿命长以及有较高光致发光效率等特点。稀土离子的配位数通常可以达到 7.8 或 9,这种性质使配合物通常还要和中性分子结合,以达到饱和配位。选择这类中性分子应满足以下要求:(1)分子体积较大,能起空间隔离稀土离子与环境的作用;(2)配位键不是太强,以减少无辐射能量损失;(3)分子的吸收应远离配体的吸收区,这类分子的参与可以大大提高稀土配合物的发光效率。到目前为止,稀土配合物——高分子体系的发光研究还不多。李文连等(1988)选择 PVB 高分子介质(PVB 是一种常用的、原料来源广的高分子材料,为聚乙烯醇缩醛类树脂的一种,由聚乙烯醇与丁醛反应而制成),并研究了稀土铈、铈的六

种 β -二酮配体配合物的荧光性质。稀土 β -二酮配合物的紫外吸收光谱一般在 280—380 nm 范围,这是由于同一种电子跃迁即 $\pi^* \leftarrow \pi$ 跃迁引起的。铈配合物的稳态光谱主要是由 5D_0 到基态 $^7F_J(J=0-6)$ 的辐射跃迁产生的,发光分布在 500—700nm 波长范围内。

2. 优质高产人参的光能利用

夺得长白山人参优质高产的技术原理主要体现在地面高光合(光能利用)与地下高吸收(营养吸收)的生物功能互促的增产原理方面。为获得高光合效率,我们采用了高透光率(自然光的 25%)的新型拱棚和光质调节的光转换发光膜以及不同生长期喷施人参光助素等技术,此外,还需要有肥、水条件的配合。

近十余年来,在研究人参产量、质量和各种栽培技术时,我们找到了增加产量的限制因子的作用,即光环境和光能的作用。改进人参生长的光环境和条件,使长白人参于 1986 年在 65 万平方米的大面积上创造了单产 2.25 kg 的新纪录(省平均单产 0.9kg),超过了日本人参单产 1.5kg 和南朝鲜单产 1.4kg 的高水平,1988 年在 100 万平方米的面积上又获得了单产 3.1 kg 新结果。六年间(1983—1986),人参共增产 46×10^5 kg,创经济效益达 2 亿 8 千万元。

长白人参的单产、面积和增产幅度以及单支重都创造了世界最高纪录。人参质量经白求恩医科大学和吉林农业大学鉴定,人参皂甙总含量和其他一些性能指标也都超过高丽参,如长白红参单体皂甙加和量为 1.786,总含量为 3.27%,而日本红参、高丽参(天)和(地)号的 R 值加和量分别为 1.463, 1.663 和 1.593,皂甙总含量分别为 2.92%, 2.68% 和 2.79%,很明显,长白人参是高产的优质人参。

长白参这套光能利用技术是国际领先的生产技术。

3. 光转换发光膜在蔬菜大棚上应用

与吉林市塑料厂合作研制成功的光转换蔬菜大棚膜,在吉林市郊区、长春外五县试验,结果证明这种膜与没有配位物参与的薄膜相比,作物长势较好,且有明显的增产效果,如黄瓜增

产 13—17%，西红柿增产 16.2%。现正在更大面积上推广使用这项新技术。

三、色素荧光分析在农业上的应用

叶绿素是作物的主要色素。叶绿素结构中的共轭大环，使它具有特殊的光学性质。它的吸收光谱有两个高峰，一个在蓝区，一个在红区，红区的高峰是色素分子所特有的^[9]。农业物理方法提高光合效率，多利用这一特征吸收区。叶绿素有很强的荧光，如恒定荧光 F_0 ，可变荧光 F_v ，延迟荧光 F_d 和诱导荧光 F_m 等，其荧光光谱的高峰只在红色区域。荧光的平均寿命和荧光的量子产额作为光合作用过程的活体探针是可取的。

1. 用叶绿素的诱导荧光检测水稻生产潜力

叶绿素荧光诱导动力学技术作为植物光能转化效率的鉴别手段，它有快速、灵敏和不破坏样品结构完整性的优点。

Krause (1984)、张其德等(1988)用叶绿素 a (chl a) 的诱导荧光技术检测不同产量水平的水稻，指出 F_0 、 F_v 、 F_m 荧光变化依赖于天线色素之间以及天线色素到光系统 II 反应中心的激发能传递几率的结构状态^[6,9]，荧光与激发光强度及 chl 含量成正相关，从而确定了在作物生长苗期筛选出具有高产潜力的新品种系列。

2. chl 荧光速测法确定小麦抗旱能力的研究

当光合生物受到光照时，一小部分吸收光以发光形式被重新放出。这种 chl 荧光强度与光合作用的电子传递活动有关，因而 chl 荧光往往被用来对光合作用进行感光探查。M. Hanaux^[10] 对干旱敏感品种的叶片经 4 小时干燥后，观察到其 chl 发光衰减速度减少约 50%，中度抗旱品种减少 22%，而高抗品种反而提高了 4%。如夹竹桃和葡萄叶子受到快速水分胁迫时，发现它的恒定荧光 F_0 随水势的降低而丧失。同样，对玉米植株应用 chl 荧光技术时，也发现干旱损害光合器官的现象。英国学者 J. Barber 还指出，叶绿体(活体)荧光方法测定光合能力比用光合速率方法简便准确。因为叶

绿体荧光容易测量，并能在单细胞水平上显示光合作用的速度。

此外，利用色素发光还可以快速监测结冰、水压、过热、疾病、营养不良和污染等导致光合作用受阻的物理化学过程，在这方面，已有叶绿素荧光计产品问世。

四、光磁互促增产原理的提出

光是地球上一切生命的能量来源，是一切作物赖以生存的环境中最主要因素之一。但对用磁技术增产，却有争议。至于光磁互促技术，更无人提及。我们用光助素处理后，再经过磁处理的豆种，一般都长得苗齐、苗壮和抗病能力增强，增产效果明显。从 1986 到 1988 年，三年处理大豆种子 80 万亩，共增产大豆 800 多万公斤，创经济效益 780 余万元。

在生产的一系列磁化机中，以 DZC 型脉冲式种子磁化机增产效果最好。原理如下：在所有生物体内都存在磁荷，但它只有在外场作用下，才会有序地排列；取消磁场后，有序性会逐渐地减小。一般说来，活体生物场是稳定场，随作用场变化而改变。加恒定作用场时，生物场将发生增强效应；当作用场是脉冲式时，生物场也将发生周期性涨落，其涨落周期同步于脉冲周期，因此，外磁场与生物场相互作用的结果，将发生周期地加强与减弱，这种涨落规律可以近似地用简正模式来描述：

$$V_{\pm} = \frac{1}{2} (W_1^2 + W_2^2) \cdot \left\{ 1 \pm \left[\left(\frac{W_1^2 - W_2^2}{W_1^2 + W_2^2} \right)^2 + \left(\frac{M}{R^3} \right)^2 \right]^{1/2} \right\},$$

R 表示二场磁子基元间距， $\frac{M}{R^3}$ 表示偶极间相互作用能与各自的磁能之比，相互作用场的加强与减弱效应分别用 V_+ 与 V_- 来表示。

光与磁场同时作用时增产效果更好，二者对农业生产有促进增产的作用。

农用发光技术的推广和开发研究，虽然已初见成效，1986 年预计推广近万亩，实际上完
(下转第 515 页)