

# 植物超弱发光及其在农业上的应用

习 岗

(西北农业大学, 陕西杨陵 712100)

植物超弱发光是一种来自活细胞的电磁信号, 它可能控制着呼吸代谢和细胞分裂等重要的生理过程, 并可作为反映植物生理变化的极其灵敏的物理指标. 本文简要介绍了植物超弱发光的检测方法及其在农业上的应用研究, 讨论了植物超弱发光的产生机理, 并对此提出了一些方法.

随着现代光子计数技术的发展, 现已发现, 任何生命物质都发射一种强度为  $10^5-10^8$   $h\nu/s \cdot m^2$ 、量子产额为  $10^{-9}-10^{-14}$ 、光谱范围为  $180-800nm$  的从红外到近紫外的超弱光子流. 这种光不同于荧光素-荧光素酶体系那样的高效生物发光, 而是一种极其微弱的低水平化学发光, 称为生物系统的超弱发光. 研究表明, 超弱发光与生物体许多重要的生命过程如氧化代谢、去毒作用、细胞分裂、光合作用甚至生长调节等有密切的关系. 特别重要的是, 活细胞的这种光辐射是一种主动的电磁信号, 利用它所携带的与生命相关的信息, 可以了解生命活动中许多精细的现象和机理. 它很可能是研究细胞的信息传递、调控、分化、识别等基本过程的重要工具. 本文简要介绍超弱发光的检测方法和现已发现的植物超弱发光现象, 着重讨论目前正在进行的植物超弱发光的机理探索和应用研究.

## 一、植物超弱发光的检测方法<sup>[1]</sup>

由于超弱发光的强度很弱, 对它的检测必须使用光电倍增管. 从结构和方法来看, 现代发展起来的应用光电倍增管的检测方法主要有四种: (1) 测量输出光电流的 DC 法; (2) 测量输出电流中交流成分的 AC 法; (3) 单光子计数 (SPC) 法; (4) 同步的单光子计数 (SSDC) 法. 根据 Inaba 的理论分析<sup>[2]</sup>, AC 法较 DC 法的信噪比高三倍, SPC 法在弱信号下又比 AC 法优越, 而 SSDC 法比 SPC 法更

灵敏. 因此, SSDC 法是迄今为止最灵敏的检测方法. 图 1 为高灵敏度同步化单光子计数探测系统的结构简图, 该系统最小可探测的光子流强度可达  $3 \times 10^3 h\nu/s \cdot m^2$ .

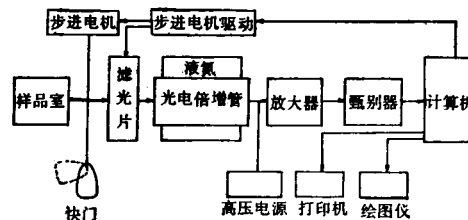


图 1 高灵敏度同步化单光子探测系统结构简图<sup>[1]</sup>

在这个系统中, 由光电倍增管输出的脉冲经三级快脉冲放大器放大, 用恒比定时甄别器甄别掉小于单光子脉冲的噪声小脉冲, 再送入微机. 计算机执行可逆计数、测量程序控制和数据分析处理功能. 光电倍增管前的遮光板由步进电机驱动, 并按照要求选定的时间参数周期性交替打开或关闭样品室至光电倍增管的光通路. 光路打开时输出的是“信号加噪声”, 关闭时输出的只是“噪声”. 两者不断相减可实现噪声本底的自动扣除. 采用这种噪声自动扣除的方法, 可以大大地提高测量系统的信噪比和灵敏度.

上述这种高灵敏度单光子计数系统一般用于超弱发光的机理研究. 在大量的应用研究中, 一般常用的检测系统为 Beckman 公司生产的 LS-5801, LS-9800 液体闪烁计数器的单光子检测装置, 或用 BCL 发光测定仪和 EM 19789 QB 型、EM19635QB 型及 GDB-52 型光电倍

增管装配的测量仪器。这些测量方法的精度稍低,但基本上可以满足应用研究的要求。

## 二、植物的超弱发光现象及其特征

最早揭示植物存在超弱发光现象的是本世纪 20 年代 Gurwitsch 所做的“洋葱试验”<sup>[3]</sup>。在这个试验中, Gurwitsch 发现,一个洋葱根尖细胞的分裂会诱发其附近的另一个洋葱根尖细胞的分裂。他认为,根尖细胞分裂时会发射微弱的紫外光,正是它刺激了另一个葱头根尖细胞,导致了后者的分裂。在 30 年代,人们又陆续揭示了许多生命体也能发射微弱的可见光和紫外光。这种辐射现象当时被称为有丝分裂中的辐射或 Gurvich 辐射。

光电倍增管的诞生使得精确测定超弱发光现象成为可能。在 50 年代, Colli 用光电倍增管检测到小麦、谷子、菜豆、扁豆等许多植物芽种都存在超弱发光,并确定了其辐射波长范围为 390—690nm,强度为  $10^6 h\nu/s \cdot m^2$ <sup>[4]</sup>。60 年代, Mamedov 等又测定了 90 余种生物试样,证实了这是一种十分普遍的自然现象<sup>[5]</sup>。现在已经知道,任何生命物质都存在超弱发光,其光谱范围为 180—800 nm,强度为  $10^5—10^8 h\nu/s \cdot m^2$ ,量子产额为  $10^{-14}—10^{-9}$ <sup>[6]</sup>。

迄今为止,对于植物超弱发光的特征,除了已知其光谱范围和强度等外,对其发光的动态变化规律也有一定的了解。现已确认,在植物种子萌发过程中,植物种子的超弱发光的动态变化与种胚萌动时的生理生化变化存在着很强的相关性。在大豆、小麦、大麦、玉米等作物上所做的研究表明,在作物萌动、露白、生根、出芽到叶片出鞘等过程中,超弱发光的发光部位因苗龄增长而转移,这种发光部位的动态转移与幼苗的生长、新器官的出现、旧器官的衰老有关。从发光积分值、峰值幅度及峰值到达时间等参数来看,不同作物有很大的差异。比如对大麦、小麦和玉米而言,按参数大小排列的次序为大麦、小麦、玉米<sup>[7]</sup>。值得注意的是,在胁迫条件下,种胚萌发的受阻与发光强度的下降呈

正相关。特别是,同种作物而抗性不同的品种之间,超弱发光强度有明显的差别。

在植物超弱发光现象的研究中,还发现植物种胚存在外因诱导发光的现象。比如,对萌发绿豆所做的实验表明,萌发绿豆的超弱发光随测量时间呈指数衰减并逐步趋于一个稳定值。对这种衰减现象的解释是,样品被送入测量室前,由于光照而诱导的超弱发光在测定过程中逐步衰减,最后稳定的发光即为绿豆自发的超弱发光<sup>[4]</sup>。由此可以确定,植物超弱发光包含有自发发光和外因诱导发光两个部分。

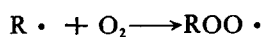
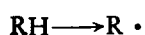
## 三、植物超弱发光的机理研究

有关植物超弱发光的机理研究表明,植物产生超弱发光的原因是多方面的,而主要的原因之一是体内进行的氧化还原等代谢过程。在酚和醛的氧化、 $H_2O_2$  的酶解、脂肪氧化酶催化、花生四烯酸的氧化、儿茶酚胺与单宁的过氧化以及醌的氧化裂解等过程中均存在超弱发光。用呼吸代谢电子传递链的抑制剂  $NaN_3$  所做的实验表明,  $NaN_3$  对萌发绿豆的超弱发光有高达 72% 的抑制,因而说明植物种子中可能至少有 72% 的超弱发光与呼吸代谢过程有关<sup>[8]</sup>。

自从 Popp 等人提出 DNA 光子存贮假说及分化的物理模型以来<sup>[9,10]</sup>,人们认识到 DNA 可能是植物体的另一个超弱发光源。Rattemeyer 等人据溴化乙锭 (EB) 对超弱发光的影响研究初步证明了这种推测<sup>[11]</sup>,而用核酸合成抑制剂放线菌素 D 所作的研究则提供了进一步的证据<sup>[8]</sup>。由于放线菌素 D 能掺入 DNA 模板抑制转录的进行,结果抑制了 RNA 的合成,而这种对 RNA 合成的抑制与对超弱发光的抑制是相关的,因此可以断定,在 RNA 合成阶段有超弱发光产生。不仅如此, Rattemeyer 还指出,溴化乙锭由于插入 DNA 分子使 DNA 双螺旋结构解开而导致黄瓜苗的超弱发光增强,因此 DNA 的裂解和复制可能也伴随有超弱发光的产生。而使用蛋白质合成抑制剂环己亚胺酮

(CHI) 所做的实验表明<sup>[10]</sup>, 尽管 CHI 抑制了蛋白质合成中的移位酶反应, 并迅速完全地阻断细胞质全部蛋白质的合成, 但对超弱发光却没有任何影响, 从而排除了与 DNA, RNA 合成有关的酶合成过程产生超弱发光的可能性。由此说明了 DNA 和 RNA 分子的合成反应也是一个产生超弱发光的源。据估计, 这部分的超弱发光约占种胚超弱发光的 24% 左右。

目前, 对植物超弱发光的机理研究不但明确了产生超弱发光的原因是代谢反应和核酸合成反应, 而且深入到了更深的层次。对于代谢反应产生超弱发光的详细机理, Valadimirov 提出过酶反应机制学说, 即认为在细胞代谢过程中以及在 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 被过氧化物酶及过氧化氢酶分解后, 生成的过氧化物经酶解后而发光。而现在一般认为, 代谢产生超弱发光的本质是由于体内的不饱和脂肪酸的氧化作用产生了过氧化自由基, 后者复合时能形成处于三重激发态的过氧化物, 其退激时产生超弱发光, 即



其中 RH 为不饱和脂肪酸, R· 为去氢自由基, ROO· 为脂肪酸过氧自由基, <sup>3</sup>R\* 为三重激发态的过氧化物。由于发光强度与 ROO· 自由基的浓度有关, 因此发光强度可由下式决定:

$$I = \Phi K_0 [ROO \cdot]^2,$$

其中的 Φ 为发光产额, K<sub>0</sub> 为常数。

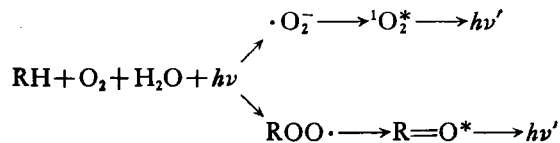
据光谱分析, 细胞分裂时产生的超弱发光的波长在 190—325nm 的紫外波段, 与代谢发光的光谱范围有所不同。因此, 分裂发光与代谢发光可能有不同的来源和机制。在分裂发光的机理研究中, 有一种观点认为, 细胞分裂时 DNA 的裂解会产生多种自由基, 这些自由基复合后便导致发光。有一些实验证据和能量计算支持这种说法。由于紫外光的发射是在有氧时观察到的, 所以其很可能是在由氧和酶共同参与的裂解过程中产生的自由基反应的结果。

一般来说, 细胞的代谢发光与分裂发光是同时或相继进行的, 发光范围从紫外到红外的

整个波段。在 Konev 等人发现的大麦根尖的发光中, 最大峰值在 480nm, 但其中也包含有紫外光。紫外光是由有丝分裂产生的。

如上所述, 代谢和核酸合成是植物产生超弱发光的内部原因, 而外界物理因素对超弱发光的影响也十分显著。用电磁辐射处理大豆种子, 可使其超弱发光增强 171%, 用水使种子萌发后, 在萌发过程中超弱发光的平均增长率仍达 50%<sup>[12]</sup>。电离辐射对细胞超弱发光的影响更为显著。用 X 射线和 γ 射线照射细胞的实验表明, 由辐射诱导的超弱发光强度与辐射剂量成线性相关, 照射剂量越大, 发光强度越大, 最大可比正常细胞的超弱发光强度大八倍, 但发光峰值却不发生任何位移<sup>[13]</sup>。

光、电离辐射等外界物理因素诱导超弱发光的机理很复杂, 一般认为, 含有生物大分子、水和氧的生物系统在外界物理因素作用下会产生多种自由基(特别是过氧自由基), 经过重组、裂解、歧化等一系列反应, 这些自由基最后会生成单线态氧和激发态羰基, 后两者的退激产生了外界物理因素诱导的超弱发光<sup>[14]</sup>:



#### 四、植物超弱发光现象在农业上的应用

由于植物超弱发光并不同于早已发现并研究广泛的荧光素-荧光素酶体系那样高效率的生物发光, 所以, 以前许多人曾认为超弱发光没有生物学意义, 它或许只是在一个绝对放热的反应中, 积累在某一激发态的产物分子, 以不可避免的 Maxwell-Boltzmann 几率浪费掉很少量能量的结果; 也可能只是一种统计涨落, 一种干扰或是一种混乱的影响。然而, 从上面的讨论可以看到, 植物的超弱发光来自于体内的核酸代谢、呼吸代谢以及各种氧化还原过程, 它的变化与植物体内的生理生化变化密切相关。这种广泛存在于体内的自发辐射与机体代谢活

动、能量转化之间存在着必然的联系。因此,利用它作为代谢指标的应用研究就很快引起了广泛的重视。现在普遍认为超弱发光可以作为反映生命过程及变化的极其灵敏的指标。另一方面,由于植物的超弱发光与环境密切相关,在不同植物、不同的环境条件下超弱发光均有所不同。因此,在农业上人们试图用超弱发光作为一种耐盐碱、抗旱、抗热、抗寒乃至抗病的指标,从而为抗逆性育种提供一种新的灵敏的物理方法。

在抗旱性研究方面,尽管迄今为止已有十余种从形态到生理生化方面的抗旱指标,但这些指标都有明显的不足。因此,探讨超弱发光能否作为抗旱鉴定的物理指标就具有重要的实际意义。这方面的研究已取得了可喜的进展。实验表明,不同抗旱性的小麦种子在超弱发光值上各有一定的变化范围,抗旱性越强,发光值越高。这种现象与用小麦幼苗进行的超弱发光实验的结果是一致的<sup>[4]</sup>。在干旱条件下,抗旱性强的小麦种子的萌发速度和发光强度也较高;而不抗旱的品种萌发受阻,发光值显著下降。在其他作物中也有类似的情况。因此,测定作物种子超弱发光可以成为一种鉴定和选育抗旱品种的简便、准确和有效的方法。

在抗寒性研究方面,用玉米种子所做的实验表明,在低温条件下抗寒性强的品种萌发时的超弱发光明显高于不抗寒的品种,而且幼苗根系的超弱发光和最低温度发光点与品种的抗寒性有关。这种种子在低温萌发时所表现出的种间发光强度的差异与品种抗寒性表现的一致性表明,测定种子的超弱发光可能是筛选抗寒性品种的有效方法。特别有趣的是,当发光处于最低值时,若进一步降低环境温度,幼苗(根)的发光将随温度下降而增强,出现“闪光现象”。这种闪光现象的出现代表何种生理、生化变化?是否是一种细胞或幼苗死亡的先兆?看来很值得研究。

有关抗热性的研究表明,植物超弱发光也是一种反映抗热性的有效的指标。有报道指出,小麦、玉米和棉花种子萌发时超弱发光值随环

境温度升高而增大,温度升高到一定程度时,超弱发光出现峰值。此后,随着环境温度进一步提高,超弱发光值呈指数下降,直至芽种死亡。超弱发光出现峰值时的温度称临界温度。根据临界温度的高低,可以判断作物抗热性的强弱。

此外,在判断施用化肥和农药的最佳剂量以及定量分析环境中有害物质含量和判断环境污染程度等方面,超弱发光也是一个十分有效而精确的指标。

综上所述,利用超弱发光这一生命过程的极其灵敏的指示剂来反映作物生理、生化的差异和变化,可以提供一种十分有效而准确的鉴定手段。这种物理方法比任何化学的、生物的方法都具有不可比拟的优越性。采用这种方法,只需选择完整而良好的种子即可直接测定,而且速度快,需样量少,不损坏籽粒,特别适用于珍贵生物品种的鉴定,这一点在种质资源方面尤为重要。由此看来,超弱发光技术在农业上有着十分广阔的应用前景。

迄今为止,有关植物超弱发光的应用研究已取得了一定的进展,但目前的研究还有一些明显的不足。有关抗逆性的研究只注意到超弱发光与抗逆性的关系,尚没有涉及为什么抗性不同的品种超弱发光不同这些更深层次的问题。作者认为,这些问题只有将抗逆生理与超弱发光的机理研究结合起来才能阐明。生理上的研究表明,植物在萌发、生长过程中或处于逆境中,都会产生更多的自由基。多余的自由基会首先攻击膜脂,造成透性增加,离子泄露。因此,在植物体内就需要有一套消除自由基的保护系统。现已确认,植物体内存在着超氧化物歧化酶(SOD)等保护酶系统和谷胱甘肽等非酶保护系统。抗性强的品种保护系统功能强,因而自由基水平低。而超弱发光的机理研究表明,植物体大部分的超弱发光属于代谢发光,代谢发光又来自于代谢过程中的自由基反应,特别是由脂质氧化而产生的自由基反应。超弱发光越强,表明自由基复合猝灭的越多或越快。由此看来,就消除自由基而言,超弱发光与保护系统

具有同样的作用。由此可以推测,超弱发光可能也是植物体消除自由基以避免伤害的一种手段。当然,这种推测尚有待于证实。

关于植物超弱发光的生物学意义,在有丝分裂发光被确认以后,许多实验就证明了紫外发光对细胞的有丝分裂活力有影响,紫外发光是细胞产生可逆形变、细胞透性发生改变以及细胞产生分裂的条件。后来又发现,用与有丝分裂相同的发光进行体外照射,可以活化许多非光生物学过程,如呼吸作用、光合作用等。因此,弱紫外发光对细胞生命活动的影响是不容置疑的。现在一般认为,超弱发光不仅可以做为植物生理、生化变化的灵敏指标,而且控制着细胞内和细胞间的信息传递和功能调节<sup>[4]</sup>。由于外界光照、电离辐射等各种物理因素对植物超弱发光有显著的激发作用,因此,作者认为,以前众所周知的物理因素具有广泛的生物学效应或许就是通过超弱发光来实现的。换言之,外界物理场可能通过控制机体内的超弱光子场来实现对代谢的调节。这个观点可用下式来简单表达:

外界物理场→内部光子场→代谢

因此,深入探讨超弱发光在生命活动中的作用以及外界各种因素(物理的、化学的、生物

的)对超弱发光的影响就可能揭示外界因素影响生物变化的本质原因,并由此通过人为地调节超弱发光来实现对生命过程的控制。显然,这是一个十分有意义的课题。

- [1] 沈 恂等,生物物理学报,4-2(1988),98.
- [2] H. Inaba, Y. Shimizu and Y. Tsuji, *Japan J. Appl. Phys.*, **14**(1975),23.
- [3] A. Gurwitsch, *Arch. F. Entw. Mech.*, **100**(1923), 11.
- [4] L. Colli, *Experiment*, **11**(1955), 479.
- [5] T. G. Mamedov, *Biophysics*, **14**(1969), 1102.
- [6] D. Slawinska and J. Slawinski, *Chemi-and Bioluminescence*, Marcel Dekker Inc., New York, (1985), 495.
- [7] 董家伦等,种子,4(1989),25.
- [8] 毛大璋等,生物物理学报,4-2(1988),116.
- [9] F. A. Popp, *Electromagnetic Bio-Information*, 1st ed., Urban and Schwarzenberg, (1979), 123.
- [10] W. Nagl and F. A. Popp, *Cytobios*, **37** (1983), 45,71.
- [11] M. Rattemeyer, F. A. Popp and W. Nagl, *Naturwissenschaften*, **68**(1981), 572.
- [12] 谭辉玲,包莫代,生物化学与生物物理进展,16-3(1989),210.
- [13] 马玉琴等,生物物理学报,4-3(1988),215.
- [14] I. I. Sapezhinskii, Y. G. Dontsova and V. M. Shirayev, *Biophysics*, **24**(1979), 386.
- [15] 汪沛洪、吕金印,生物化学与生物物理进展,17-5(1990),399.
- [16] J. Slawinski, *Bio-Photon-Physics*, **4**(1980),1.

## 合金镀层的性能和应用

阎 洪

(昆明冶金研究院,昆明 650031)

本文主要阐述了国内外合金镀层的性能、应用和发展前景。

单一金属镀层均匀致密,具有较好的耐磨性、耐蚀性以及一些特殊的物理性能,如电阻率高和温度系数小等,因而在机械、电子、化工等领域获得了广泛的应用。但是,随着其应用范围的扩大,它的性能还有待进一步提高。

通过合金化的方法,能调整和改变材料的微观结构,从而改善镀层的物理和化学性能,甚

至得到一些新的特性。为了改进单一金属镀层的综合性能,近年来,人们采用化学镀、电镀和复合镀等方法,获得了各种类型的合金镀层;其电性能、磁性能、焊接性能、耐蚀性、抗氧化性和耐磨性明显高于单一金属镀层,发展前景非常广阔。本文对合金镀层的性能和应用作一概述。