

大光金鱼花不同叶位叶片超微弱发光的光子计数统计

赵占娟^{1,*}, 李光², 闫冰¹

河北大学¹ 医学部, ² 物理科学与技术学院, 河北保定 071002

The Photon Count Statistics of Ultraweak Photon Emission in Different Leaves of *Columnea gloriosa* Sprague

ZHAO Zhan-Juan^{1,*}, LI Guang², YAN Bing¹

¹College of Health Science, ²College of Physics Science and Technology, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China

摘要: 采用生物超微弱发光探测技术, 并用量子光学中的光子计数分布统计方法测量植物叶片超微弱发光的结果表明, 大光金鱼花幼叶和老叶的超微弱发光强度较低, 光子计数分布与泊松分布基本吻合。

关键词: 超微弱发光; 光子计数统计; 泊松分布; χ^2 检验

所有活生物都能超微弱发光, 超微弱发光是生物系统中自发辐射的一种极弱的光子流。不同种类生物的超微弱发光程度不同。不同发育状况叶片的超弱发光变化也可能不同。李德红等(1998a)指出, 花生成熟叶片的超弱发光较强; 而花生的伸展叶、老叶和幼叶的超弱发光强度较弱(李德红等 1998b)。王维江等(2000)用超微弱发光图像探测系统观察到红背桂不同部位的延迟发光和衰减程度不同, 幼叶和老叶的延迟发光较弱, 成熟叶片的延迟发光最强, 而完全枯黄的叶片其延迟发光接近本底。罗明珠等(2002)的实验也显示: 甘蔗叶片在幼苗期和分蘖期(为幼叶和伸展叶)间, 由于光合作用及其他代谢过程相对较弱, 其超微弱发光也相对较弱。随着甘蔗叶片的生长, 光合作用逐渐增强和新陈代谢更加旺盛后, 其超微弱发光也就越强。这些都是通过植物叶片自身发光或延迟发光得到的结果, 而用光子计数统计进行研究的并不多见。本文以大光金鱼花叶片为材料, 对其同一枝条上不同叶位叶片的光子计数进行测量统计。

材料与方 法

1 植物材料

大光金鱼花(*Columnea gloriosa* Sprague)为多年生草本植物, 喜湿润环境, 适宜温度 18~22℃, 于实验室中恒温培育。选具有顶端幼叶、完全展开叶、中部功能叶和下部老叶的同一枝条, 用剪刀将植株从基部剪断后立即放入盛有水的器皿中。

测量时先用去离子水将叶片擦洗干净, 再用滤纸吸干叶片表面的水分, 然后置于样品室中暗适应 200 s, 随即测量其自身发光强度。每次测量 100 s, 记录下光子总数, 连续测量 3 次。每个样品测量前先测一次本底, 用 3 次测量值的平均数减本底的总平均数作为自身发光强度的测量值。

2 实验装置

采用由中国科学院生物物理研究所研制的生物超微弱发光测量仪(BPCL-4)进行测量, 装置如图 1 所示, 主要由样品室、光电倍增管、光子放大器、数据采集系统和微机构成。样品室与光电倍增管相连, 接收的信号经光子放大器放大, 由数据采集系统收集后传送到计算机。样品

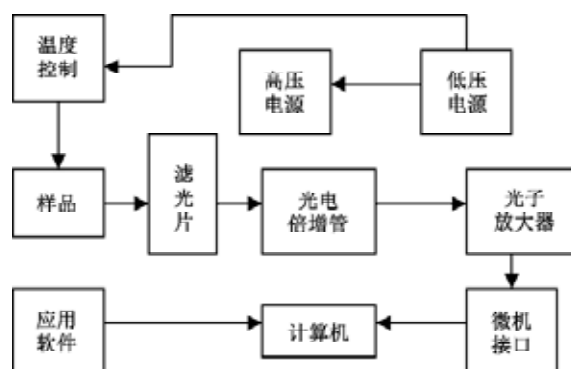


图 1 BPCL-4 超微弱发光图像探测实验装置

收稿 2007-06-25 修定 2007-08-13

资助 河北大学博士基金(2002y01)。

* E-mail: zhaozhanj@sohu.com; Tel: 0312-4133155

室内有一个窗口和托架(其上放样品), 测量时间由样品室的快门控制。

3 测定方法

光子计数的统计分布是指在一个给定的时间间隔 Δt 内, 记录到 n 个光子($n=0, 1, 2, \dots$) 的概率 $P(n, \Delta t)$ 的分布。这是分析生物光子相干特性的有效手段(甘子钊等 1996), 量子力学证明, 一个完全相干的稳定的光子场, 光子计数统计服从泊松分布:

$$P(n, \Delta t) = \frac{\exp(-\langle n \rangle) \langle n \rangle^n}{n!}$$

式中, $\langle n \rangle$ 是记录的平均光子数。测定时, 选生长势相近, 最上部已完全伸展的叶片和下部叶片已有部分发黄衰老的大光金鱼花的枝条为实验材料。从枝条上端已完全伸展的叶片开始计数, 叶位由上而下依次记为 1, 2, 3, ..., 9。测定叶片超微弱发光的温度维持在 18℃, 于暗室中进行, 以 BPCL 超弱发光分析仪测定。实验前开启空调 1 h 以保证室温维持在 18℃, 仪器预热 1 h, 稳定本底。仪器电压为 1 000 V, 光子计数时间间隔为 1.00 s。

4 统计方法

采用泊松分布的拟和优度检验, 检验水准为 $\alpha=0.10$ 。若概率 $P>0.10$, 则认为服从泊松分布; 反之, $P<0.10$, 则认为不服从泊松分布。

实验结果

1 发光强度与平均光子数的变化

由图 2-a 可以看出, 随着叶龄的增加, 叶片

自身的超微弱发光强度先是快速上升, 然后保持一定时期的稳定, 然后开始快速下降; 从叶片的超微弱发光强度的平均值得到叶片超微弱发光强度的平均光子数(图 2-b), 也是随着叶龄的增加, 先是上升, 到达最高值后开始快速下降; 最后完全枯黄的叶片平均光子数趋于一个稳定值。这表明, 幼叶和衰老叶片的自身超微弱发光弱, 平均光子数较低; 而成熟叶片的自身超微弱发光强, 平均光子数也较高, 这可能是成熟期的叶片光合作用强, 代谢旺盛, 多余的能量以光子形式释放出来, 以致自身发光较强, 光子数的平均值也较大。这与已有的报道是一致的(李德红等 1998a, b)。而完全枯黄的叶片其发光强度非常微弱, 接近本底, 其光子强度的平均值趋近于稳定值的结果则与王维江等(2000)的结果一致。

2 不同叶位叶片的光子计数统计与理论泊松分布的比较

从图 3 可以看出, 叶片 1、2 (幼叶)与叶片 6~9 (老叶)的光子计数分布与泊松分布最接近, 但叶片 1、2 的光子计数分布图形尖峰开始突起, 而叶片 6~9 (老叶)的光子计数分布图型的尖峰较少, 图型比较平滑。其他叶片的光子计数分布与泊松分布偏离较大, 且图型分裂较多, 尖峰数目也很多。这表明, 同一枝条的叶片光子计数统计分布的变化是随枝条叶位变化而变化的, 幼年叶片(叶片 1、2)的光子计数统计分布与泊松分布较符合, 成熟期叶片(叶片 3~5)的光子计数统计分布偏离泊松分布很远; 老年叶片(叶片 6~9)的光子计数统计分布与泊松分布又较符合。

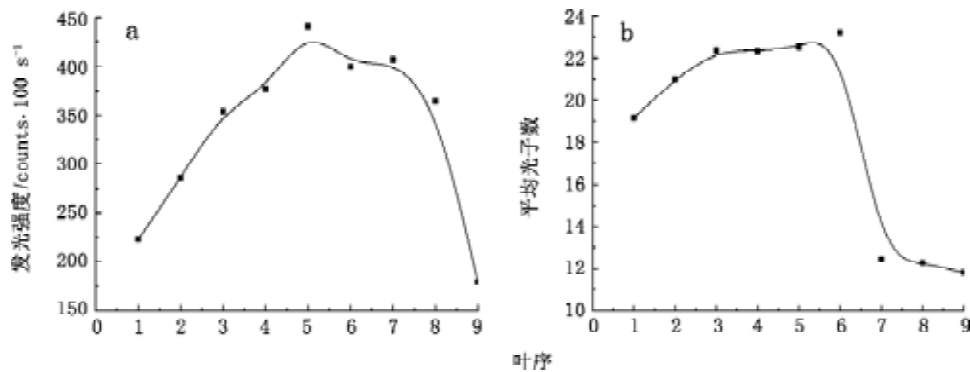


图2 不同叶片的超微弱发光强度和平均光子数的变化

a: 不同叶序的叶片自身超微弱发光强度曲线; b: 不同叶序的叶片超微弱发光强度的平均光子数曲线。

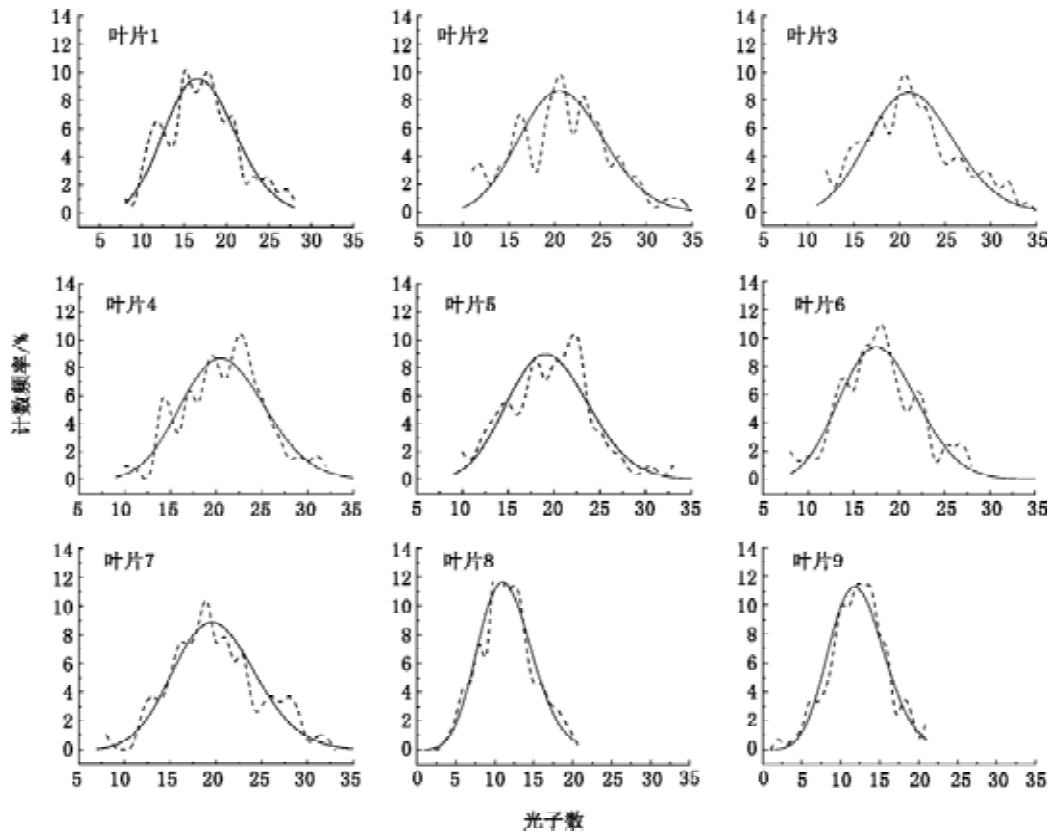


图3 光子计数统计与泊松分布的比较
实线代表理论泊松分布, 虚线代表叶片光子计数统计分布。

此外,我们又作了拟和优度的 χ^2 检验(检验水准为 $\alpha=0.10$),分析叶片的辐射光子数分布的结果(表1)表明:幼年叶片(叶片1、2)和老年叶片(叶片6~9)的光子计数统计分布基本上符合泊松分布($P>0.10$),而成熟叶片(叶片3~5)的光子计数统计分布不符合泊松分布($P<0.10$)。这与以上实验

表1 光子计数统计的拟合优度检验

叶序	χ^2	自由度	P 值
1	30.72	16	$>0.10^*$
2	22.08	19	$>0.10^*$
3	44.80	27	$<0.10^{**}$
4	38.80	25	$<0.10^{**}$
5	35.86	20	$<0.10^{**}$
6	18.60	23	$>0.10^*$
7	20.71	18	$>0.10^*$
8	17.71	17	$>0.10^*$
9	9.85	16	$>0.10^*$

*表示服从泊松分布; **表示不服从泊松分布。

结果是一致的。

讨 论

大光金鱼花叶片在生长发育及衰老过程中其幼年及老年叶片的光子计数分布符合泊松分布,其原因可能是光子来源不同造成的。一般来说,幼年叶片细胞内DNA分裂比较旺盛,其生理生化反应中产生的化学发光所占比重较小,所以其辐射的光子数与泊松分布偏离较小;而老年叶片蛋白质、核酸等含量下降,DNA降解加快,化学发光大大降低,所以其辐射的光子数也基本上服从泊松分布。成熟叶片的发光比较复杂,既有DNA裂解时产生的光子,还有内部发生复杂的化学变化所产生的化学发光,因此其光子计数分布与泊松分布不能很好的符合。

在光子计数分布中采用频数分布的拟合优度检验,将有可能成为生物农学和医学等研究领域一个新的检测指标。

参考文献

- 甘子钊, 韩汝珊, 张学群(1996). 生命科学中的物理学. 北京: 北京大学出版社, 166~171
- 李德红, 何永红, 罗明珠, 谭石慈, 邢达(1998a). 生长在不同光质下的花生幼苗的超弱发光. 生物物理学报, 14 (3): 548~552
- 李德红, 邢达, 谭石慈, 王维江(1998b). 绿豆和花生的超弱发光. 植物生理学报, 24 (2): 177~182
- 罗明珠, 李德红, 梁计南, 谭中文, 陈培寿, 段税, 张承宜(2002). 甘蔗叶片超弱发光和叶绿素含量、单茎重的关系研究. 激光生物学报, 11 (3): 173~176
- 王维江, 邢达, 谭石慈, 韩俊英(2000). 植物超弱发光的探测. 光电子·激光, 11 (4): 427~430