

微波场影响生物体超弱发光的研究

陈江丽, 李 晔, 夏靖波

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:根据 F. A. Popp 相干理论及有关实验,生物光子的延迟辐射强度随时间服从双曲函数分布。通过对蒜瓣在微波作用下超弱发光的研究表明,并非所有生物体的发光曲线都呈双曲衰减,有些生物体的超弱发光呈振荡趋势。考虑到声子和光子的相互作用,并通过实验和计算机模拟验证这一结果。

关键词:微波;声子;光子;延迟发光

中图分类号: O482.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2002)02-0091-04

自然界中生物体的超弱发光是一种普遍现象,由于发出的光非常微弱,所以直到 50 年代光电倍增管出现以后,才有可能研究生物系统的超微弱发光。经过 30 年的研究,人们终于发现,生物的超微弱发光与生物系统的氧化代谢、细胞分裂和死亡、光合作用、致癌以及生长的调控等许多基本的生命过程有着内在的联系,而且正是由于它与活的生物体内的生化过程以及生物机体的生理和病理状态有着密切的联系,才使这种超弱光子辐射在医学、农业和其它生命科学方面具有重要的诊断价值。例如,研究发现,有些肿瘤的超弱发光比正常的高,有些则较低,利用这一点可对肿瘤进行精确诊断^[1]。随着研究的进一步深入,提出了生物体的超弱发光的相干理论^[2],它认为延迟发光遵循双曲规律,这一理论在我们以前的实验中已得到证实^[3]。

在理论上生物光子的延迟辐射强度随时间的关系服从双曲函数。然而并不是所有的生物体延迟辐射强度的曲线都呈现为双曲衰减。例如, chlorella alga 是一种植物,它的延迟曲线如图 1 所示,该曲线与双曲规律明显不同。这里,我们以蒜瓣为例,用微波场激励蒜瓣,观测它的延迟发光现象,也存在类似的结果。因为我们一直认为生物光子是产生于生物体内相干的电磁场^[4-5],所以很有必要从相干性角度重新解释这个问题。

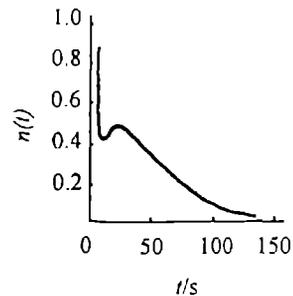


图 1 植物 chlorella alga 的延迟曲线

1 理论模型及解析解

为了解释这种现象,采用一种三能级系统模型,在这个系统中我们考虑了光子与声子的相互作用、泵浦及耗损。如图 2 所示。

分子开始在 2 能级,由于受到频率为 ω 泵浦光场的作用,由 2 能级跃迁至 3 能级,然后由 3 能级通过自发辐射跃迁至 1 能级,产生频率为 ω_a 的光子。由于

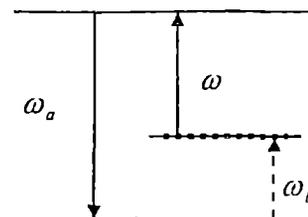


图 2 三能级系统模型

分子受到声子场作用,吸收频率为 ω_b 的声子,由 1 能级跃迁至 2 能级。其中 ω 、 ω_a 和 ω_b 满足共振条件: $\omega = \omega_a - \omega_b$, 由于 $\omega < \omega_a$, 所以称为反斯托克斯类型。我们将以这种理论模型为基础讨论生物系统的延迟发光特性。以反斯托克斯为例(如图 2), 在相互作用绘景下海森堡方程为:

$$\frac{da}{dt} = -\gamma_a a - kb \quad (1)$$

$$\frac{db}{dt} = -\gamma_b b + ka \quad (2)$$

式中 a, b 分别为光子、声子的湮灭算符, k 为比例系数, 正比于光子、声子耦合强度及频率为 ω 的泵浦场的振幅, γ_a, γ_b 分别为光子、声子的衰减速率。

用 Laplace 变换的方法来求解式(1)、式(2), 得:

$$Pl[a] - a(0) = -\gamma_a l[a] - kl[b] \quad (3)$$

$$Pl[b] - b(0) = -\gamma_b l[b] + kl[a] \quad (4)$$

这样可以得到 $a(t)$ 及 $b(t)$ 的解, $a(t)$ 及 $b(t)$ 的解从形式上可表示为:

$$a(t) = a(0)A(t) + b(0)B(t) \quad (5)$$

$$b(t) = b(0)C(t) + a(0)D(t) \quad (6)$$

其中 $A(t)$ 、 $B(t)$ 、 $C(t)$ 和 $D(t)$ 分别为时间的实函数。

根据式(5)、式(6), 能得到与时间有关的光子数与声子数为:

$$v(t) = \langle b^+(t)b(t) \rangle \quad (7)$$

$$n(t) = \langle a^+(t)a(t) \rangle \quad (8)$$

2 光场处于相干态时的讨论

假设初始时刻光子处于相干态 $|\alpha\rangle$, 声子处于相干态 $|\beta\rangle$, 那么系统的初始态 $|\psi(0)\rangle$ 可表示为:

$$|\psi(0)\rangle = |\alpha\rangle |\beta\rangle \equiv |\alpha\beta\rangle \quad (9)$$

其中 $\alpha = |\alpha|e^{i\varphi_a}$ $\beta = |\beta|e^{i\varphi_b}$

显然, 系统初始态是算符 $a(t)$ 和 $b(t)$ 的本征态, 其本征方程如下:

$$a(t)|\alpha\beta\rangle = \alpha(t)|\alpha\beta\rangle \quad (10)$$

$$b(t)|\alpha\beta\rangle = \beta(t)|\alpha\beta\rangle \quad (11)$$

其中相应本征值为:

$$\alpha(t) = \alpha(0)A(t) + \beta(0)B(t) \quad (12)$$

$$\beta(t) = \beta(0)C(t) + \alpha(0)D(t) \quad (13)$$

在相干态 $|\alpha\beta\rangle$ 中, 光子数 $n(t)$ 随时间变化, 可表示为:

$$n(t) = \begin{cases} [|\alpha|^2 \sin^2(\theta - kt \sin\theta) + |\beta|^2 \sin^2(\sin\theta) - 2|\alpha\beta| \sin(\theta - kt \sin\theta) \sin(kt \sin\theta) \cos\phi] \csc^2 \theta e^{-2\gamma t} & |\delta| < k \\ [|\alpha|^2 (1 - \delta t)^2 + |\beta|^2 t^2 - 2|\alpha\beta| (1 - \delta t) kt \cos\phi] e^{-2\gamma t} & |\delta| = k \\ [|\alpha|^2 \sinh^2(\theta - kt \sinh\theta) + |\beta|^2 \sinh^2(\sinh\theta) - 2|\alpha\beta| \sinh(\theta - kt \sinh\theta) \sinh(kt \sinh\theta) \cos\phi] \operatorname{csch}^2 \theta e^{-2\gamma t} & |\delta| > k \end{cases} \quad (14)$$

其中 $\phi = \phi_a - \phi_b$

光强度正比于平均光子数 $n(t)$, 利用式(14), 对 $\alpha, \beta, \delta, k, \theta, \gamma$ 等参数取不同数值时, 在计算机上模拟曲线如图 3 所示。

当取 $|\delta| < k, \alpha = 7, \beta = 22, \phi = 1.6, \gamma = 0.025, \theta = 0.8, k = 0.02$ 时得到延迟曲线如图 3(a) 所示, 与某些生物体的实际发光曲线(图 1 所示)极为相似, 当减小 β 值, $\beta = 6$, 其它参数不变, 得到曲线如图 3(b) 所示, 此时曲线趋于指数衰减。

当取 $|\delta| < k, \alpha = 7, \beta = 5, \phi = 0.8, \gamma = 0.025, \theta = 1.6, k = 0.07$ 则得到曲线如图 3(c) 所示, 它与图 1 也比较相似, 当减小 k 值, $k = 0.01$, 其它参数不变, 得到曲线如图 3(d) 所示, 此时曲线也趋于指数衰减。

$|\beta|^2$ 表示声子场中声子数的大小,即声子场的强弱, k 正比于声子光子的耦合强度,因此只有考虑声子及光子的相互作用,才能得到与实验结果较为相符的理论结果。

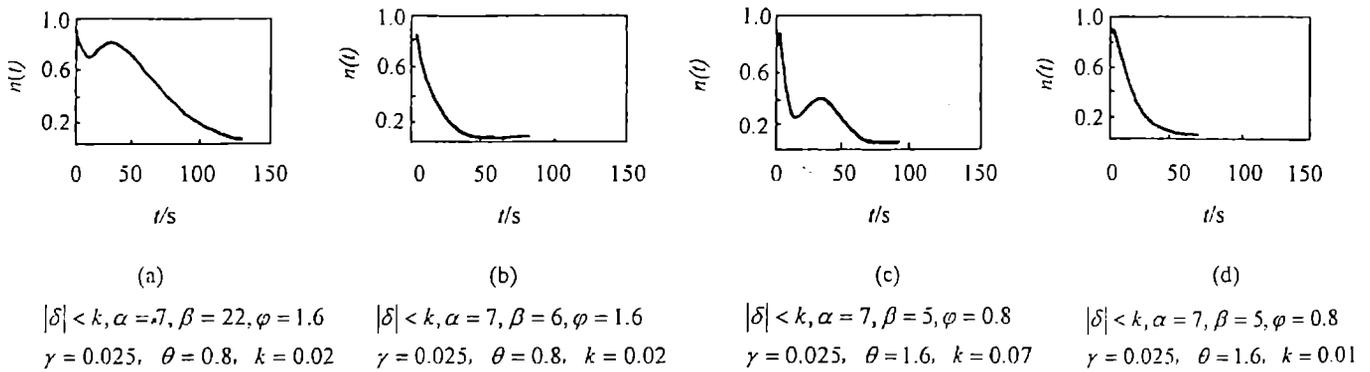


图3 当 $\alpha, \beta, \delta, k, \theta, \gamma$ 等参数取不同值时计算机模拟曲线

3 在微波场作用下蒜瓣的超弱发光与延迟发光

3.1 实验

用波长为 3.0 cm 功率为 0.6 w 的微波场 E 刺激蒜瓣,在暗室中用单光子计数器记录蒜瓣发光情况。每隔 10.0 s 记录一次数据,测得微波场刺激作用存在时及作用停止后不同时刻光子数 n_1, n_2 ,考虑到测量条件,要求能观察到光子发射的起伏(泊松分布),数据平滑是必要的。测量数据 n_1, n_2 及平滑后数据 \bar{n}_1, \bar{n}_2 见表 1。

以时间 t 为横坐标,光子数 n 为纵坐标,作出蒜瓣在微波场刺激作用中及作用停止后发光曲线,如图 4 所示。

3.2 分析

由图 4 可以看出,蒜瓣在微波场刺激作用中,其发光曲线是振荡衰减的,当刺激作用停止时,它的发光强度立刻降低,然后又振荡着上升,有恢复到施加刺激作用之前状态的趋势。这些现象完全不同于直流场作用下的发光情况^[3]。

微波场刺激作用下蒜瓣发光曲线是振荡衰减的,而计算机模拟曲线图中,图 3(a)、图 3(c) 也有振荡现象,说明蒜瓣中一定存在声子与光子的相互作用。由于实际发光曲线复杂多变,表明声子与光子的相互作用更加复杂。

通过对蒜瓣在微波场作用下生物的超弱发光特性的研究,我们认为不管是在微波作用中还是作用后其发光曲线都出现振荡现象,说明蒜瓣内必然存在声子与光子的相互作用,因为其发光曲线与图 1 相比较要复杂得多,所以声子与光子是如何作用的就没有理想模型中的那么简单。我们相信,随着对生物体超弱发光的进一步研究,一定会有更多的新的发光曲线被发现和认识,生物的各种信息可以从发光曲线中反映出来^[6],所以,生

表 1 光子数记录表

E 存 在时	t/s	n_1		E 停 止后	t/s	n_2	
		n_1	\bar{n}_1			n_2	\bar{n}_2
	10	35	38.0	10	21	22.0	
	20	44	38.0	20	28	26.0	
	30	35	38.3	30	29	27.0	
	40	36	39.0	40	24	26.3	
	50	46	40.0	50	26	24.3	
	60	38	36.3	60	23	25.7	
	70	25	33.3	70	28	24.3	
	80	37	34.0	80	22	22.7	
	90	40	37.7	90	18	24.7	
	100	36	33.0	100	34	27.0	
	110	23	32.3	110	29	29.3	
	120	38	31.0	120	27	26.3	
	140	39	35.3	140	27	24.0	
	150	35	34.7	150	18	23.3	
	160	30	32.3	160	25	22.0	
	170	32	31.3	170	23	22.3	
	180	32	30.8	180			

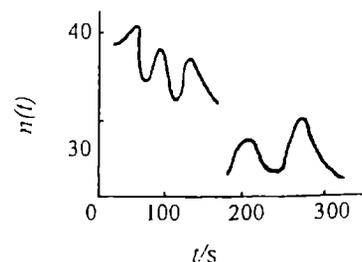


图4 微波场作用下蒜的发光曲线
(虚线为作用停止后发光曲线)

物体超弱发光研究领域的前景是十分广阔的。

参考文献:

- [1] Popp F A. In proceeding of the international conference on lasers '85[D]. Las Vegas; NV USA, 1985.
- [2] Popp FA, Li K H, Gu Q. Recent advances in biophoton research and its application[M]. Co Pte Led ;WorldScientific Publishing, 1992.
- [3] 陈江丽, 陆治国. 直流场作用下蒜的超弱发光与延迟发光 [J]. 空军电讯工程学院学报, 1998, (2): 64 - 66.
- [4] Gu Q. Avalogy between life and the laser. [J]. Infrared \& Millimetre(USA), 1989, 8(1): 83 - 98.
- [5] Gu Q. The ultraweak photon emission from living systems. [J]. Science(china), 1989, 41(2): 35 - 40.
- [6] 陆治国, 吴朝新, 刘 忠. He - Me 激光照射红豆芽的延迟发光 [J]. 激光杂志, 1995, 16(5): 207 - 210.

(编辑: 门向生)

Study of the Influence of Microwave Field on Biological Ultraweak Luminescence

CHEN Jiang - li, LI Ye, XIA Jing - bo

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: According to the coherence theory of F. A. Popp and some experiments, biological photon delayed radiation intensity obeys the hyperbolic function with time. In this paper, the study of garlic ultra - weak luminescence in microwave field shows that not all biological luminescence curves present hyperbolic decay, but some ultraweak bioluminescences are of oscillation trend. In consideration of the interaction between phonon and photon, the result obtained is verified by way of experiment and computer simulation.

Keywords: microwave; photon; phonon; delayed luminescence

简 讯

《空军工程大学学报》在中国科学引文数据库 2000 年的期刊评价与调整中被列为中国科学引文数据库扩展库的来源期刊。

中国科学引文数据库是在国家自然科学基金委员会和中国科学院共同资助下建成的一个大型综合性的多功能期刊引文数据库。它以国内出版的数、理、化、天、地、生、农林、医药卫生、工程技术等领域的核心期刊和优秀期刊作为来源期刊。

中国科学引文数据库先后被中国科学院院士主席团、国家自然科学基金委员会、国家重点实验室办公室、国家青年科学家奖组委会等重要的管理部门指定为查询库。