

生物光子的物理特性及其生物学意义*

张锦珠[†]

(中国科学院生物物理研究所 北京 100101)

摘要 生物光子是指活生物体内的(或由生物体发出的)弱光子. 现在生物光子发射已是人们公认的普遍现象,它的强度在几个到几百个光子/ $s \cdot cm^2$. 生物体内的弱光子起源于体内的非定域的相干电磁场,是受生物体内相干场调节的. 文章介绍了生物光子的非线性、生物体受激发后再发光的双曲线式的衰减过程以及生物光子计数概率的统计分布服从泊松分布和亚泊松分布等实验结果,就生物光子场的相干性及其在细胞通讯、进而在生物调节上的重要作用进行了阐述,从物质结构与光子场相互作用的角度对生物光子的发生及其生物学意义进行了一些讨论.

关键词 生物光子,非线性,相干态,压缩态,细胞通讯,生物调节

Physical properties of biophotons and their biological functions

ZHANG Jin-Zhu[†]

(Institute of Biophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract Biophotons are photons within or emitted from living organisms. Biophoton emission (ultraweak photon emission) is now accepted as a universal phenomenon, involving weak light emission from a few up to several hundred photons / $s \cdot cm^2$. Biophoton emission originates from a non-localized coherent electromagnetic field within the living body and is regulated by the field. In this paper an account is given of the coherent properties of biophotons and their functions in cell communication and therefore in biological regulation, based on experimental results concerning the non-linearity of biophoton emission, the hyperbolic decay of reemission after illumination, and the Poisson and sub-Poisson distributions of photocount statistics. From the point of view of the interactions between biological structures and biophoton fields some discussions on the origin of biophotons and their impact are presented.

Key words biophotons, non-linearity, coherent state, squeezed state, cell communication, biological regulation

1 引言

生物光子(biophoton)是指活生物体内的(或由生物体发出的)弱光子. 它的强度为几个到几百个光子/ $s \cdot cm^2$,波长范围从200—800nm甚至到红外波段. 生物体发弱光子现象是前苏联科学家 Gurwitsch 在20世纪20至30年代间首次发现的. 当时他利用两个洋葱小根,一个作为诱导体,另一个作为

被测体,将被测体垂直地放置而将诱导体水平地放置,令诱导体的根尖(这里细胞分裂较旺盛)对着被测体茎的某处,使两个小根靠得很近,但并不接触. Gurwitsch 发现:当诱导体和被测体之间用石英玻璃隔开时,正对着诱导体根尖的被测体茎内的细胞分裂率增加,如果两者之间隔着普通玻璃,细胞分裂率

* 国家自然科学基金(批准号39770208)资助项目

2004-06-07收到初稿,2004-10-08修回

[†] Email: Changj@sun5.ibp.ac.cn

则没有明显改变. 当时他把这个现象解释为由于诱导体发出的紫外光(能透过石英玻璃,但不能透过普通玻璃)引起了被测体茎部位的细胞分裂,后来他又在许多其他材料成功地重复了这个现象.

第二次世界大战以后,由于光电倍增管技术的发展,在前苏联、波兰、日本、美国、澳大利亚、德国和中国等的一些学者先后从事了生物体的超弱发光研究,现已证实它不但存在于紫外波段,也存在于可见波段和红外波段. 目前生物体的超弱发光现象已被公认,但是对于它的解释却有两种截然不同的观点. 以俄国的 Zhuravlev 和美国的 Seliger 为代表的学者认为,它是由新陈代谢过程缺乏造成的,因为活的生命系统永远处于激发态,当回到热平衡态时发出光子,所以对一些具有高反应活性物质(如自由基),氧化剂是光子的来源. 德国国际生物物理研究所的 Popp 从 20 世纪 70 年代初开始,对生物光子发射进行了系统的研究,提出生物体内的弱光子起源于体内的非定域的相干电磁场^[1,2],即生物体发出的弱光子是由体内相干的电磁场调节的,同时生物体内的光子场也是生物通讯和生物功能的调节者. 笔者自 1993 年起与 Popp 等人合作从事生物光子与生物通讯研究至今,在本文中将自己的研究结果,就生物光子的物理特性、生物学作用和意义及今后的展望谈谈自己的看法.

2 生物光子的物理特性

大量的实验结果揭示出生物光子的主要特性归纳如下^[2]:

(1)非线性,含有多个子系统体系的宏观效应不等于各子系统效应的简单相加,这说明子系统之间存在着复杂的相互作用.

(2)辐射强度低,长时间较稳的辐射和受照射后恢复到较稳定的辐射强度一般在几个至几百个光子/s·cm²,这正说明生物光子辐射是量子物理现象.

(3)光谱强度 $I(\nu)$ 的分布平坦,没有特殊的峰值,这是因为对不同频率下的激发温度不同,这一点说明发光体(生物体)是远离热平衡的开放体系.

(4)用单色光或白光激发(照射)后,生物体的延迟发光(或称再发光)衰减很慢,衰减动态过程不遵从指数方程,而符合双曲线式(hyperbolic)过程.

(5)在一个给定的计数时间 Δt 内,记录到 n 个光子($n = 0, 1, 2, \dots$)的概率 $P(n, \Delta t)$ 服从泊松

(Poisson)分布.

(6)对环境,例如温度及其他影响都极为敏感,常表现为光子辐射的增加.

笔者仅就其中的部分加以说明. 图 1 表示水蚤的光子发射与水蚤密度的关系,这是生物光子发射的非线性的一个例子. 图中显示了相同发育阶段和相同大小的雌性水蚤的发光并不因数目的增加而呈线性增加,它们显示出干涉式的变化,即当它们之间的距离达某一些值时出现最大值,而达另一些值时出现最小值^[3]. Schamhart 等^[4]和 Scholz 等^[5]用可见光或用白光对培养的肿瘤细胞和正常细胞悬液进行照射后,测量它们的延迟发光强度. 结果观察到肿瘤细胞的延迟发光与正常细胞不同(图 2). 当细胞浓度达到某一个值后,肿瘤细胞的延迟发光强度随细胞浓度的增加呈非线性增加,但正常细胞的延迟发光强度却随细胞浓度的增加而减少.

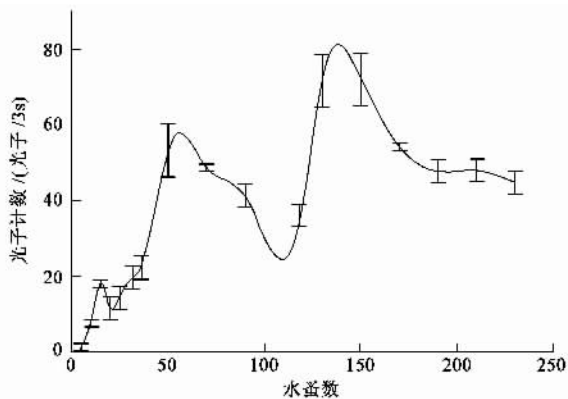


图 1 水蚤的光子发射与水蚤在水中的密度关系(处在相同发育阶段的雌性水蚤的瞬时光子发射显示,随着水蚤密度的增加,发光强度呈非线性改变,其最大值和最小值与水蚤间的距离有关,当距离为一些值时,发光最大,为另一些值时,发光最小^[3])

生物体被照射后的再发光(或称延迟发光)的衰减动态过程不遵从指数方程,而符合双曲线式过程,这是生物光子场相干态(coherent state)的充分条件^[6]. 近来还观察到再发光衰减动态过程伴有振荡现象(如图 3 所示),Popp 等^[7]认为双曲线式振荡是两个以上相干态模耦合的结果,振荡表明它们之间有能量交换.

光子计数的统计分布是分析光子场特性的有效手段,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. 符合测量系统(coincidence counting system, CCS)是测量光子统计分布的最好方法^[8]. 该方法的原理如图 4 所示.

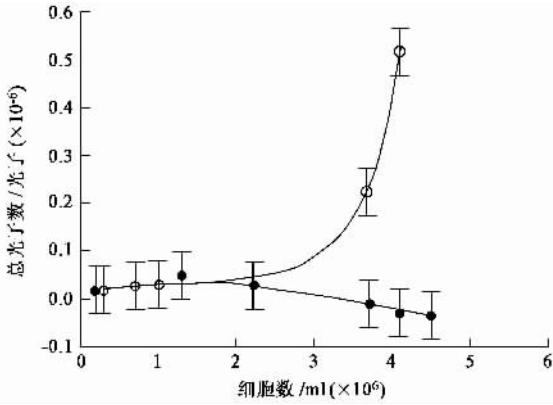


图2 肿瘤细胞和正常细胞的延迟发光[用可见光照射细胞悬液5min后,测延迟发光强度得出:肿瘤细胞延迟发光随细胞密度的增加而增加(上面曲线),但是正常细胞则相反,它们的延迟发光随细胞密度的增加而减少(下面曲线).光子总计数是指整个衰减过程的相对于介质的发光的总和^[4,5]]

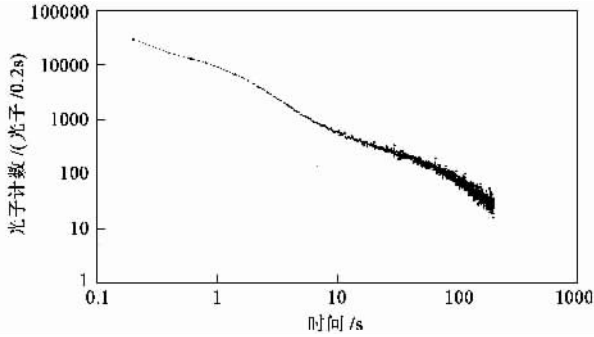


图3 单细胞海藻 Acetabulum 再发光衰减动态过程(用150W钨灯白光照射10s测得的结果^[7])

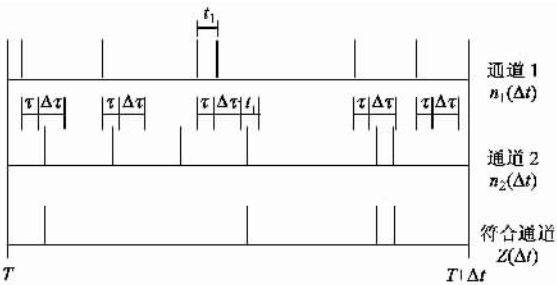


图4 符合测量系统测量光子统计分布原理

通道1和通道2分别对两个光源(被测样品) X_1 和 X_2 或一个光源进行测量,它们在 Δt 时间内的光子计数分别由光电倍增管1和2记录.假设将其中一个通道作为被计数通道(比如通道2),另一个通道则为参考通道.在这个系统中还有一个符合通道,它是一个计数器,它是这样工作的:当参考通道(通道1)记录到1个光子,符合通道的电子快门以一个很短的时间 τ 滞后打开,并且在随后的时间间隔 $\Delta\tau$ 内,计数通道(通道2)所计的每一个光子作为

符合光子被记录下来. τ 和 $\Delta\tau$ 都是事先选择的,可以改变的.换句话说,在这段时间内,也只有通道2中记录到1个和1个以上光子时,通道1记录的这个光子才为符合光子.因此,在符合通道内检测到的随机符合光子的数目为

$$Z = n_1 P_2(n_2 \geq 1), \quad (1)$$

这里 P_2 是在计数通道内记录到 n 个光子($n \geq 1$)的概率, Z 和 n_1 分别为符合通道和参考通道的光子计数.由于在CCS中,可同时测得 Z , n_1 和 n_2 ,因此可以测得 $P(n \geq 1)$ 的分布.因为 $P(0) = 1 - P(n \geq 1)$ 在符合测量系统中也可测得 $P(0)$,对一个平均光子数为 n 的光子场的不同态,理论上的 $P(n \geq 1)$ 和 $P(0)$ 的分布分别为^[9]

$$P(n) = \frac{n^n}{(n+1)^{n+1}} \text{ (对混沌态)}, \quad (2)$$

$$P(n) = \exp(-n) \cdot \frac{n^n}{n!} \text{ (对相干态)}. \quad (3)$$

对一个完全的相干场 $P(n, \Delta\tau)$ 服从泊松分布,不依赖 $\Delta\tau$,但是对于混沌场,如果 $\Delta\tau \ll T$ (T 是该混沌场的相干时间), $P(n, \Delta\tau)$ 服从几何(geometric)分布.如果 $\Delta\tau \gg T$, $P(n, \Delta\tau)$ 也是泊松分布.

当 $n=0$ 时,

$$P(0) = \frac{1}{(n+1)} \text{ (对混沌态)}, \quad (4)$$

$$P(0) = \exp(-n) \text{ (对相干态)}, \quad (5)$$

$$P(0) = \frac{1 + \tanh r}{\cosh r} \cdot \exp[-n \exp(2r)] \text{ (对压缩态)}, \quad (6)$$

这里 r 为压缩因子,如果 $r=0$,则 $P(0) = \exp(-n)$.

将测得的结果与理论曲线相比,可以了解生物体光子场的性质.笔者曾利用CCS方法对许多生物样品的发光进行了测量与分析,包括双鞭藻、鸡胚的脑、细菌、植物种子、西红柿小苗、萤火虫等.改变不同的 τ 和 $\Delta\tau$ 及 Δt .还对部分样品施以电刺激.测得的结果表明:多数样品的光子计数统计分布的实验曲线接近理论的泊松分布曲线,而不接近几何分布曲线.有的则与理论的泊松分布曲线符合得很好,如图5所示.尤其在受到电刺激后,这些样品同时也给出电刺激后的发光动态过程类似于双曲线式衰减过程.实验结果还给出在一些情况下得到超泊松(super-Poisson)和亚泊松(sub-Poisson)分布,如图6所示.

光子场的相干态的充分和必要条件是光子计数的统计分布为泊松分布,同时光照后的延迟发光的

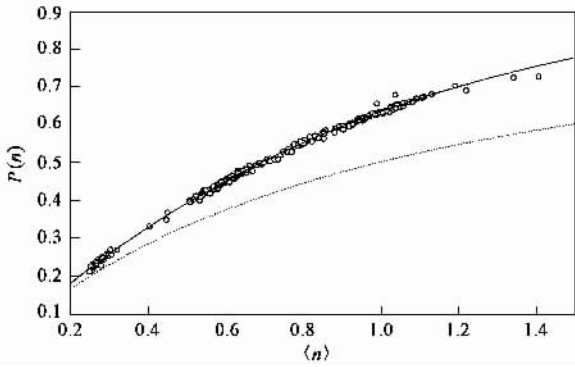


图5 Elegance 双鞭藻发光计数的统计分布 [图中点为用 CCS 测得的 $P(n)$ 值, 实线(上)为理论的泊松分布曲线, 虚线(下)为理论的几何分布曲线. $\Delta t = 1\text{s}$, $\Delta \tau = 3 \times 10^{-4}\text{s}$, $\tau \approx 10^{-7}\text{s}$]

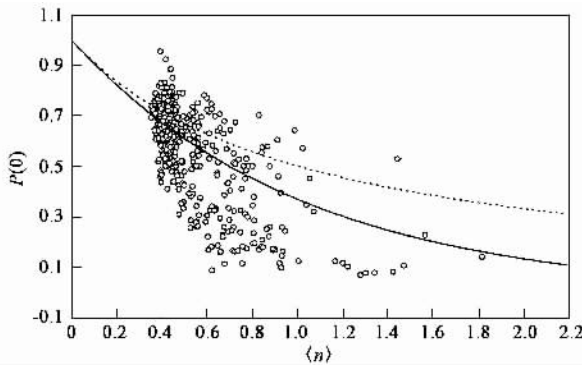


图6 Gonaulax 双鞭藻发光计数的统计分布 [图中点为用 CCS 测得的 $P(0)$ 值, 实线(下)为理论的泊松分布曲线, 虚线(上)为理论的几何分布曲线. $\Delta t = 1\text{s}$, $\Delta \tau = 10^{-3}\text{s}$, $\tau = 10^{-5}\text{s}$]

衰减动态过程遵从双曲式的规律. 大量的实验测量得到的结果显示生物体的光子发射满足上述两个条件, 表明生物光子场是高度相干的. 光子计数的统计分布服从亚泊松分布是压缩态的充分条件, Popp 和 Chang 等人^[9,10]首次用实验结果证明了生物系统发出压缩光子. 关于它们的作用以及它们是如何产生的将在以后的章节中加以说明和讨论. 这些实验结果表明, 生命在长期的进化过程中学会和利用量子机制来调节自身, 这是我们从生物光子物理特性研究得到的最重要的启发. 研究生命体是如何利用量子机制, 将有助于对生命过程的认识. 这便是研究生物光子物理特性的目的和意义.

3 生物光子场的作用

愈来愈多的实验证据说明, 活生物体内的光子场处于相干态和压缩态, 这对生物通讯和生物调节有重要意义. 首先简单介绍一下什么是相干态和压缩态以及它们在通信中的优点. 根据海森伯不确定

性原理: 由于微观粒子的两重性, 任何两个共轭的物理量(指该两个量的量纲的乘积与普朗克常数 h 的量纲相同, 为 $\text{erg} \cdot \text{s}$) 不可能同时准确地确定, 例如, 位置(q)与动量(p), 能量(E)与时间(t), 波长(λ)与动量(p)等. 两个共轭的物理量的测不准量的乘积(例如 $\Delta p \cdot \Delta q$, $\Delta E \cdot \Delta t$, $\Delta \lambda \cdot \Delta p$) 的最小值被限制到 $\hbar/2$, 例如: $\Delta p \cdot \Delta q \geq \hbar/2$, 这是海森伯不确定性原理. $\Delta p \cdot \Delta q = \hbar/2$ 为海森伯不确定度关系式. 这里 $\hbar = h/2\pi$, $h = 6.627 \times 10^{-27} \text{erg} \cdot \text{s}$. 经变换, 可将海森伯不确定度变为无量纲的两个分量的模式. 如图 7 所示, 其中 X_1 和 X_2 分别代表两个正交的量. 相干态和压缩相干态都是海森伯不确定度最小的量子态, 即在 $\Delta X_1 \cdot \Delta X_2 = 1$ 的双曲线上的各个点. 相干态是指 $\Delta X_1 = \Delta X_2 = 1$ 的特殊点, 在这样的特殊点上粒子的波动性和粒子性相等, 这是一个非波非粒子的临界态, 这个状态对外界环境是最敏感的. 子系统间建立或享有这个状态就是建立了量子通信的基础. 在双曲线上的其他各个点为压缩相干态, 这里 $\Delta X_1 \neq \Delta X_2 \neq 1$, 但其中必有一个小于 1, 即 $\Delta X_1 < 1$ 或 $\Delta X_2 < 1$. 如 $\Delta X_1 < 1$, 则必有 $\Delta X_2 > 1$; 如 $\Delta X_2 < 1$, 则必有 $\Delta X_1 > 1$. 理论上可得到 $0 \leq \Delta X_1 < 1$ 或 $0 \leq \Delta X_2 < 1$, 即其中任何一个分量皆可压缩. 量子噪声是以 ΔX_1^2 或 ΔX_2^2 量度的, 理论上压缩光的 X_1 或 X_2 分量的量子噪声可以为零, 如果用来通信, 则其信噪比可达到无限大, 并且可以转播到无限远, 这是光通信的最理想的方式.

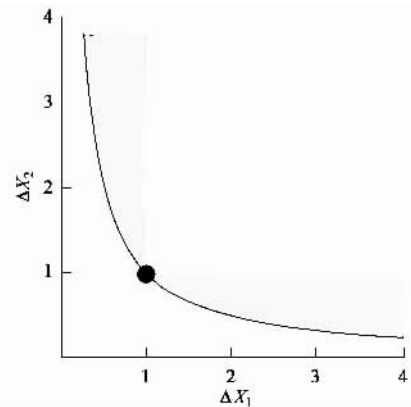


图7 海森伯不确定性原理的 ΔX_1 , ΔX_2 表示. 双曲线上的黑点($\Delta X_1 \cdot \Delta X_2 = 1$ 及 $\Delta X_1 = \Delta X_2 = 1$) 为相干态, 其余各点($\Delta X_1 \cdot \Delta X_2 = 1$ 及 $\Delta X_1 < 1$ 或 $\Delta X_2 < 1$) 为压缩相干态. 阴影区($\Delta X_1 \cdot \Delta X_2 > 1$ 及 $\Delta X_1 < 1$ 或 $\Delta X_2 < 1$) 为广义压缩态 [Walls, Milburn, Quantum Optics, Springer-Verlag, 1994]

为了研究细胞间的光通信, 专门制造了双样品

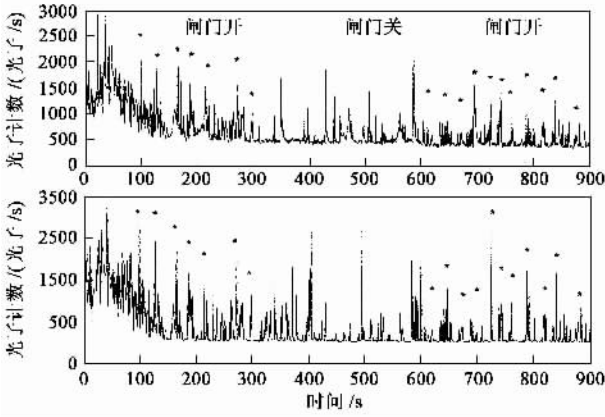


图8 Goniaulax 双鞭藻的同步闪光[两个双鞭藻的培养物分别放在测量室 A 和 B,两个光电倍增管分别记录这两个培养物的发光,当样品 A(上图)和样品 B(下图)之间的闸门打开时,样品 A 和样品 B 的大部分闪光是同步的.一旦它们之间的闸门关闭(300—600s)时,样品 A 和 B 的闪光不同步,*表示同步闪光^[12]]

室的检测系统,两个被测样品分别放在样品室 A 和样品室 B 中,两个样品室间装有闸门,当闸门打开时,这两个样品(光源)处于光相通(即互相看得见)状态,当闸门关闭时,则 2 个样品处于光不相通(即互相看不见)状态.2 个光电倍增管分别记录两个样品的光子发射.用许多样品作为检验样品进行了测量^[11,12],得到的结果是一致的,如图 8 所示,当两个双鞭藻培养物处于光相通状态时,显示出较多的同步闪光,关上闸门同步闪光立刻减少.这个现象可能是当两个双鞭藻群体处于光相通时,由于它们发光的相干性,最后建立了相减干涉(destructive interference),它对外来的任何干扰是极为敏捷的,并被任何一个同时感受到,而同时反映出发光的增加,即同步闪光.这个例子说明双鞭藻的发光受控于它的生物光子场.

萤火虫之间的光通讯是生物个体间的光通讯的典型例子,将两只泰国的萤火虫分别放在样品室 A 和 B 中,连续测它们的发光,发现与双鞭藻类似.利用 CCS 系统对北京香山公园的萤火虫的光子计数的统计分布进行了测量,得出的结果如图 9 所示,处在静止(即非闪光)时,萤火虫的发光有时给出较好的泊松分布,这再一次说明生物体发光可能受相干场的调控.

还有一些其他报道^[13,14]证实了细胞间借助光进行通信的现象.1992 年,Alrecht - buehler^[13]将培养的仓鼠肾细胞(BHK 细胞)接种到载玻片的一个面上,培养 2 至 3 天后,在该载玻片的另一面上再接

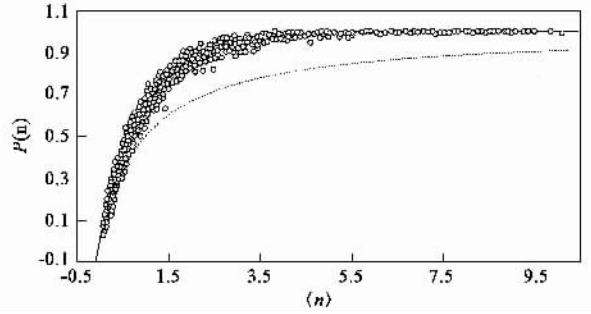


图9 萤火虫 Lampyridae 发光计数的统计分布[图中点为用 CCS 测得的 $P(n)$ 值,实线(上)为理论的泊松分布曲线,虚线(下)为理论的几何分布曲线. $\Delta t = 0.1s, \Delta \tau = 10^{-4}s, \tau = 10^{-5}s$]

种 BHK 细胞,在暗处继续培养 7 至 12 小时后,发现后接种的细胞的生长不是随机取向和分布的,而受先接种一面细胞的影响.如果在该载片两个面之间放一层金属薄膜,这种影响就不再存在了.这说明载玻片的两个面上的培养细胞之间存在着光通信.沈恂等人^[14]发现当两份猪白血球处于光相通而不接触时,其中一份白血球发光与另一份白血球在呼吸爆发时引起的化学发光相关,说明在猪白血细胞间有光通讯现象.细胞是生命结构和功能的基本单位,正是由于细胞之间通讯的正常进行,生物体才能正常地生长、发育,如果细胞之间的正常通讯受到了干扰,生物体便出现各种病变,甚至死亡.因此可以说生物光子通过细胞通讯调节着生物的生长发育、细胞分化等过程,生物光子场可能是生物功能的调节者.

4 问题和讨论

生物光子场最重要的特性是它的高度相干性.这里的问题是这样的:如此高度相干性的光子场是怎样产生的,光子的压缩态是怎样形成的,生物光子场的功能又是怎样实现的,对这些问题的回答仍在研究中.这里谈谈自己的看法作为讨论.

首先生物光子场的产生和它的高度相干性与生物结构有关.Popp 提出生物体内的弱光子起源于体内的非定域电磁场,DNA 分子可能是它的主要光源.细胞内 DNA 分子的 Q 值可能达到 10^{18} 甚至更高,这是其他的生物大分子所无法比拟的,从结构上看,只有 DNA 分子能达到如此高的 Q 值,表明 DNA 分子有极强的储存和发射光子的能力^[15].中国科学院物理研究所李克学先生根据 DNA 分子的光吸收和荧光性质,分析了 DNA 分子内形成受激二

聚体(excimers)或受激复合体(exciplexes)的物理过程与激光发生类似^[16]. DNA 分子与其他生物大分子相同,都是由碳、氢、氧、氮原子组成的,是由它们形成的复杂结构. 核酸(包括 RNA 和 DNA)分子是由嘧啶和嘌呤碱基、核糖和脱氧核糖及磷酸组成的. 用 X 射线法分析,已知嘧啶是平面分子,嘌呤也很接近平面分子. 碱基与糖形成的核苷酸中碱基平面与糖环平面相互垂直. 根据 DNA 分子结构的双螺旋模型, B 型 DNA 分子是由两条反向平行的多核苷酸链绕同一个轴旋转而形成的右手双螺旋结构. 碱基平面相互平行并与螺旋纵轴垂直,相邻的碱基平面间的距离为 3.4Å. 碱基位于螺旋的内侧,磷酸与脱氧核糖位于螺旋的外侧,脱氧核糖的平面与螺旋纵轴平行. 双螺旋的直径为 20Å,绕中心轴旋转一周为 34Å,就是说每个螺距大约有 10 个核苷酸. DNA 分子的碱基是含氮的碳环结构,由它们所形成的复杂的双螺旋 DNA 分子的长链,以及 DNA 分子有时与蛋白质分子所形成的复合体的高度螺旋结构,可能为某些基团提供了电子数的反转的电子能级条件,从而为实现受激辐射提供了可能性. 这是活生物体内 DNA 分子的特点. 在这样的系统中,被激发的电子(这是经常发生的)不是受热力学规律的驱使而立刻回到它的基态,即热平衡态,而是暂时存储在亚稳态的能级中,形成远离热平衡态的暂时的平衡态(准稳态),实际上是一种激发态. 简单地说,这就是 DNA 分子存储光子的机理. 只要有合适的能量(例如受到光的激发)就有光辐射,生物光子的物理特性告诉我们,它们不可能来源于随机的自发辐射,而像激光发生一样. 与物理上的凝聚的物质不同,由于在活生物体内有充分的能量供给,上述过程是可以发生的,所以生物结构是活的, DNA 分子是活生物体内的激光发生器,大量的碱基可能作为激光工作物质. 双螺旋长链的作用可能像谐振腔一样,由于生物体的新陈代谢提供了足够的能量,一旦有一个光子作为信号激发了这个系统,便会得到放大,发射出相同波长、相同位相的相干光子.

染色质和染色体是细胞核中 DNA 分子存在的一种结构形式,人的体细胞的 DNA 分子总长度达 2m,每条染色体 DNA 平均长约 5cm,在直径为 5—10μm 的细胞核里必须经过包装(在长度上压缩)才能被容下. 那么如此长的 DNA 分子是怎样被压缩包装的呢? 首先与组蛋白质分子结合形成核小体,由核小体组成直径为 10nm 染色质单纤维丝(DNA 分子在长度上被压缩 6—7 倍),由染色质单纤维丝

螺旋而形成直径为 30nm 染色质粗纤维丝(被压缩 6 倍)粗纤维丝又经过螺旋而形成径为 300nm 的超螺旋(被压缩 40 倍),再进一步压缩 5 倍而形成直径为 700nm 染色单体,再形成 1400nm 染色体. 这样从 DNA 分子到染色单体共被压缩 8400 倍,即使不形成染色体,在染色质中 DNA 分子也被压缩了近 1700 倍. DNA 分子碱基间的距离是 3.4Å,从物理的角度看,在染色质和染色体中, DNA 分子中的碱基形成了有序的堆积,并在与蛋白质分子形成复合物时,又形成了碱基和某些氨基酸,尤其是像组氨酸、络氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、脯氨酸基团的堆积,对 DNA 的光子和信息储存有着重要的作用. 人类基因组计划已揭示出人类细胞单倍体基因组中的 DNA 总量共有 30 亿碱基对,而其中只有 3 万至 4 万个基因负责蛋白质氨基酸编码,只占 DNA 总量的 1% 到 1.5%. 真核生物中单倍体细胞的 DNA 含量差别很大,甚至可达到 40,000 倍,但是现在已知道它们的基因的数量却大体相同,所不同的只是那些不编码蛋白质的 DNA,即所谓的“junk”DNA,而且愈高等的生物所含的“junk”DNA 愈多. 那么“junk”DNA(含有大量的重复序列)起什么作用,在这里找到了答案,它们可能是相干的生物光子发射不可缺少的条件,更重要的是它们能储存大量的光子和信息,这可能是 DNA 信息作用的一个方面,也是调控基因的工作机理.

蛋白质分子也同样具有储存和发射光子的能力,虽不象 DNA 分子那样强,它们与生物光子场的功能是分不开的. 蛋白质的三维空间结构对其生物活性具有重要意义,酶失去了空间结构就失去了活性. 生物结构(尤其蛋白质分子)如同非线性晶体一样,使通过它们的某些光成为压缩光. 这是生物光子场的压缩态的来源之一. 蛋白质分子因构象的变化而引起光子发射,这可能是蛋白质(包括酶)活性的体现和实施方式. 例如酶可能是通过构象的变化发出的光子而调节酶反应的. 让我们结合细胞信号转导过程说明生物光子在其中的调节作用. 细胞外信号传入细胞并在其内进行传递的通路有多种形式. 在 cAMP 通路中,传递过程大致如下:当细胞外信号分子与细胞表面受体结合时,受体分子受到刺激而激活,活化的受体分子再激活与其偶联的 G 蛋白分子,活化的 G 蛋白再激活腺苷酸环化酶,它使第二信号物质 cAMP 增加而导致蛋白激酶 A 的激活,这样一步一步地传递,再经过几步达到调节基因的表达方式. 如此一级一级地传递(活化)是怎么

实现的?实际情况可能是:当受体蛋白分子与外来信号结合时发生构象变化而发出光子,它被 G 蛋白分子识别而吸收后发出新的光子,它再以同样方式激活腺苷酸环化酶,这样一级一级地传递(活化)实际上是由光子完成的,同时光子场(包括细胞核里)的每个元件也及时地获得信号分子与细胞表面受体结合等一系列的信息.在这个例子中,上一级的光信息是在无信道的介质中传递的,下一级的蛋白分子由于其结构的特性而能识别和接受(主要根据光的频率)它们.而在另一些例子中光信息可能是在信道内传递的.例如,细胞有丝分裂过程中纺锤丝微管的几何排列和电极性分布的特性显示,这时纺锤丝微管可能还有传递光信息的作用,表明细胞在分裂过程中,部分信息(光子)是通过信道从母细胞传给子细胞的,它们可能是非常重要的信息.类似的例子还有神经元细胞中有许多微管,它们相互平行并与轴突的纵轴平行地排列着,这样的结构特性表明,它们似乎与胞体同突触间的信息传递有关.

植物细胞最重要的功能是光合作用,参加光合作用的色素不只一种,而有两种以上,同时这些色素分子与蛋白质分子及其他的分子(包括含金属分子)形成复合物.叶绿体中的叶绿素分子又分为捕光叶绿素和反应中心叶绿素,前者只能吸收光能,没有化学反应特性,又称为天线色素,每一个捕光色素分子将所吸收的光能通过共振再传递给反应中心叶绿素,这些似乎表明,光合作用的整个反应过程可能是通过光调节的.

再从经典角度来看光与生物结构的关系,这里光的相干性定义为其位相关系保持不变,是以光子场的相干时间量度的.一个混沌的光子场的相干时间大约为 10^{-9} — 10^{-6} s,以 10^{-9} s 计算,光在这段时间内能运行 10cm,这个距离远比细胞大得多.即使是混沌光,对像细胞这样的生物结构来说也是相干的.由于生物微细结构的高度有序的重复,各种亚单位(例如,细胞膜为 100\AA , DNA 碱基间距为 3.4\AA)与光的波长相比却小得多,它们对几百纳米波长的光是致密的,足以引起光的干涉. Popp 和 Chang^[12]提出了干涉花样可能是生物体的自组装、生物发育等生命过程的调节者.

生物结构只是生物光子场建立的条件,即可能性,如同激光发生一样,仅有工作物质还不够,还要有相同的光子激发才能产生受激辐射的激光,生物光子的发射也是如此,与热辐射不同.另一方面生物

结构的形成是生物光子场作用的结果.高度有序的生物结构自动地组织起来而不瓦解,在这个过程中熵减少而不是增加.人们不禁要问,在生物体内这些过程为什么能发生?这就必须考虑生物体内的作用.因此生物结构和生物光子场不是哪一个产生哪一个,并不是因果关系,而是相互诱导,相互共存,共同发展的.如果把生物光子看作生物物质运动的一种形式,那么它与物质结构的关系可以理解为生物结构(包括各个层次上的)的功能(包括它们的存在)是在它们的运动中实现的.

5 结论和展望

实验得到的结果显示活生物体内的光子是处于高度相干态和压缩态,表明生命在长期的进化过程中学会利用量子机制来调节自身.生物体内的光子场只是体内电磁场的一部分,可能是对生命起重要作用的部分.1968年 Fröhlich^[17]提出:由于生物膜的偶极性和由于生物大分子中某些键(例如氢键)的反复出现,可能还由于非定域电子的存在,生物系统可能具有一群电振荡子,它们的频率在 10^{11} — 10^{12}s^{-1} 之间.这说明活生物体可期望具有相干的微波场.到目前为止,已有些实验报告证实了生物电磁场的存在.有人曾测得了酵母细胞在分裂时产生的电磁场,频率有时达 80MHz;鸟类和哺乳类细胞在分裂时产生的电磁场为 1 — 30kHz ^[18].

生物体内除了电磁场(包括光子场)外,还有电场、磁场、引力场和重力场等其他物理场,它们各自在一定的范围内起着作用.生物体内的离子有着重要的作用,体内的离子既是粒子又是波.细胞内的自由钙离子是重要的信号物质,以它为例,当细胞的膜电位增加 10mV(这是可能而常有的事)时,这时通过离子通道各种离子应以波的形式运动,钙离子应以大约频率为 10^{11}Hz 的波运动,钙离子的信息作用可能是这样实现的.这对用类似的方法考虑某些目前难以解释的问题时会得到启发,比如有关经络和穴位的实质问题.人(包括动物)体内的经络是客观存在的,但对它的实质有各种说法,是否可以设想所谓的经络线并不是实质的结构而只是体内离子流的大致路径,穴位(可能是有形结构)则是调节离子流动的控制站,这些离子则是以波的形式运动的.

50多年前,在 Lawrence Bragg 领导的 Cavendish 实验室里, Watson 和 Crick 在回答基因是什么以及它们是怎样工作的过程中建立了 DNA 分子结构的双螺旋模型,与他们同时, Perutz 和 Kendrew 利用 X 射

线衍射法首次完成了蛋白质空间结构的测定. 这两项成就开创了生物学的新纪元, 对生物学各学科产生了深刻的影响, 同时也为生物工程的发展建立了基础, 为人类创造了巨大的财富. 因而他们于 1962 年获得诺贝尔奖, 他们也为后人树立了物理学与生物学结合的典范. 从 DNA 双螺旋模型到现在已经半个多世纪过去了, 在这半个世纪中, 生物学各学科, 尤其分子生物学得到了飞快的发展, 获得了许多新的成就, 揭示和阐明了许多重要的生命现象和规律. 科学总是要向前发展的, 我们面前的一个事实是: 地球上的生命是在宇宙及地球的各种物理场(包括光子场)的作用下发生并进化的, 无疑这些场是影响地球上生命进化的因素之一. 当今如何认识光子场的作用及其与其他物理场的关系可能是认识生命本质的新尝试, 而目前较好的选择是试图回答生物体内的光子场是什么以及它们是怎样工作的.

致谢 作者衷心感谢贝时璋教授对该工作的鼓励和支持.

参 考 文 献

[1] Popp F A. Some essential questions of biophoton research and probable answers. In : Popp F A , Li K H , Gu Q. Recent Advances in Biophoton Research and its Applications. Singapore-London : World Scientific Publishing Co. , 1992. 1—47

[2] Popp F A. Biophotons-background , experimental results , theoretical approach and applications. In : Popp F A , Belousov L. Biophotonics. Dordrecht-Boston-London : Kluwer Academic Publishers , 2003. 387—438

[3] Galle M , Neurohr R , Altmann G *et al.* *Experientia* , 1991 , 47 : 457

[4] Schamhart D H J , van Wijk R. Photon Emission and the degree of differentiation. In : Jezowska Trzebioatowska B , Kochel

B , Slawinski J *et al.* *Photon Emission from Biological Systems.* Singapore - London : World Scientific Publishing Co. , 1987. 137—152

[5] Scholz W , Staszkiwicz U , Popp F A *et al.* *Cell Biophysics* , 1988 , 13 : 55

[6] Popp F A , Li K H. *Int. J. Theor. Phys* , 1993 , 32 : 1573

[7] Popp F A , Yan Y. *Phys. Lett. A* , 2002 , 293 : 93

[8] Popp F A , Shen X. The photon count statistic study on the photon emission from biological system using a new coincidence counting system. In : Chang J J , Fisch J , Popp F A. *Biophotons.* Dordrecht-Boston-London : Kluwer Academic Publishers , 1998. 87—92

[9] Popp F A , Chang J J , Herzog Z. *et al.* *Phys. Lett. A* , 2002 , 293 : 98

[10] Chang J J . Biological effects of electromagnetic fields on living cells. In : Popp F A , Belousov L. *Biophotonics.* Dordrecht-Boston-London : Kluwer Academic Publishers , 2003. 231—259

[11] Popp F A , Chang J J , Gu Q *et al.* Nonsubstantial biocommunication in terms of Dicke's theory. In : Ho M W , Popp F A , Warnke U. *Bioelectrodynamics and biocommunication.* Singapore-London : World Scientific Publishing Co. , 1994. 293—317

[12] Popp F A , 张锦珠. *中国科学(C)* , 2000 , 30 : 598 ; Popp F A , Chang J J. *Science in China (C)* , 2000 , 43 : 507

[13] Albrecht-buehler G. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* , 1992 , 89 : 870

[14] Shen X , Mei W P , Xu X. *Experientia* , 1994 , 50 : 963

[15] Popp F A . Coherent Photon Storage of Biological Systems. In : Popp F A , Warnke U , König H L *et al.* *Electromagnetic Bio-Information.* Urban & Schwarzenberg : Munchen-Wien-Baltimore. 1989. 144—167

[16] Li K H. Coherent radiation from DNA molecules. In : Popp F A , Li K H , Gu Q. *Recent Advances in Biophoton Research and its Applications.* Singapore-London : World Scientific Publishing Co. , 1992. 157—195

[17] Fröhlich H. *Int. J. Quant. Chem.* , 1968 , 2 : 641

[18] Hyland G J. Bio-electromagnetism. In : Popp F A , Belousov L. *Biophotonics.* Dordrecht-Boston-London : Kluwer Academic Publishers , 2003. 117—148

· 物理新闻和动态 ·

库珀对何时不配对？

在低温超导体中, 电子并不是单个地进行运动, 而是以弱耦合形式形成配对, 一般称之为库珀对. 形成库珀对的两个电子, 一个自旋向上, 另一个自旋向下. 最近德国科学家 D. Beckmann 教授对库珀对的分离作了一些实验, 他的实验表明库珀对中的电子可以在它们的有效作用距离内发生分离.

一块铝超导体与两根磁化的铁导线相连, 让超导体内的库珀电子对进入到与两根导线的交界处. 通常库珀对进入到正常导线中时, 它在正常导体内还能在短距离内维持成对的形态, 这个距离大约等于正常金属体的相干长度. 长于这个距离后库珀电子对将破裂. 现在借助于磁化铁导线的渗透作用, 使得任何电子对不再具有库珀对自旋反向组合的特性. 实验时不断变换导线间的距离, 同时测量通过磁化铁导线时的电阻. 这样就能了解有关库珀对的各种物理特性, 例如在各种距离下, 库珀对的耦合强度等.

这个工作是研究有关电子自旋旋转课题中的一个子课题, 其目的是了解电子自旋的特性, 以便于控制电子的流动和缠结等量子行为. 从而使我们能掌握两个分离的电子在什么距离下会产生关联效应.

(云中客 摘自 *Physical Review Letters* , 5 November 2004)