

激光提高酶活性机理探讨*

王 晶 郭维生**

(内蒙古师范大学物理系 呼和浩特 010022 ** 内蒙古大学物理系)

提要 采用电子-构像相互作用理论研究了激光影响酶活性的分子机理, 结果表明激光场有利于激发酶活性。

关键词 酶活性, 激光场, 电子-构像相互作用

1 引 言

激光是生物的物理诱变因素之一, 实验研究表明: 在一定剂量范围内, 激光辐射生物体, 使生物体内硝酸还原酶、酯酶、淀粉酶等酶活性普遍提高^[1-3]; 同时产生了有益的生物效应, 如促进农业增产、诱变育种等, 都取得了显著的经济效益。然而, 关于激光提高酶活性物理机制的研究, 尚未见报道, 本文从电子-构像相互作用理论出发, 讨论激光影响酶活性问题。

2 物理模型

酶是生物体细胞内具有特殊催化作用的蛋白质。新陈代谢的各阶段都必须在酶的催化作用下进行。和其它蛋白质一样, 在细胞内, 各种氨基酸按着遗传指令相互结合形成肽链, 成为酶原的分子基础。肽链形成后, 需在细胞内经过加工(如将合成的肽链切除一部分)、修饰(如磷酸化、甲基化等)、聚合, 有时还要结合辅基, 最后形成有生理活化的酶, 而其催化活动的大小是受一些环境因子所调节的^[4]。

在酶促反应过程中, 酶分子必然与特定结构的底物分子契合, 也就是底物分子的电子壳层的畸变, 从根本上来讲是一个化学反应。任何化学反应都应伴随电子和原子核的位移。对于像酶一类蛋白质来说, 原子核的位移方向是特定的, 它主要来自于绕单键的转动。因此蛋白质中原子核的运动就成为构像运动。但是电子能级改变之后才能发生构像变化, 可以说有电子-构像相互作用才有酶催化^[5]。

多肽链中的 π 电子沿多肽链自由运动, 但不能离开多肽链, 电子好像处在阱壁为无限深的方势阱之中。在此势阱中, 电子具有分立的能级, 其第 n 个能级的势能为

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

* 国家自然科学基金青年基金资助项目。

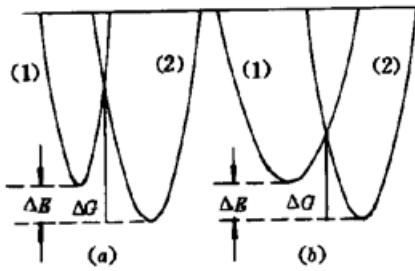


图 1 (a) 不带构像变化的电子跃迁图示;
(b) 带有构像变化的电子跃迁图示
1: 反应物; 2: 生成物

Fig. 1 (a) There is no conformation change following electronic transition; (b) There is conformation change following electronic transition
(1): the conformation of reactant;
(2): the conformation of resultant

其中, m 为电子质量, L 为势阱宽度, h 为普朗克常数。

处于第 n 能级的电子对阱壁上产生的压力为

$$f = - \frac{dE_n}{dL} = \frac{n^2 h^2}{4mL^3} \quad (2)$$

电子所处的能级越高, 对阱壁的压力就越大。当电子被激发到足够高的能级上, 阱壁压力足够大时, 阱壁被拓宽, 即引发构像跃迁。此时, 电子势能中一部分转变为构像能量, 酶促反应的活化势垒也随之降低, 增强了蛋白质分子构像的能动性, 从而加速了酶促反应的进程, 如图 1 (a), (b) 所示。(a) 为不带构像变化的电子跃迁, 反应物(1) 与生成物(2) 之间具有能量差 ΔE , 势垒高度为 ΔG 。(b) 为带有构像变化的电子跃迁, 反应物(1) 与生成物(2) 之间的能量差仍为 ΔE , 但势垒高度下降为 $\Delta G'$ 。

3 激光照射改变了酶分子中电子的跃迁速率

激光场可表示为^[6]

$$E(z, t) = \frac{1}{2n} \sum E_n(t) \exp\{-i[\omega t + \varphi_n(t)]\} \sin(knz) + c. c \quad (3)$$

电场强度为

$$E = E(t) \cos \omega t \quad (4)$$

由于对生物体采用小剂量激光辐射^[1-3,7], 场强峰值小于 $10^5 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ 。酶分子的线度约为 1 nm, 故分子中电子的电场能约为 10^{-4} eV , 这能量很小, 可以认为是含时微扰。

酶分子中电子由 $|k\rangle$ 态跃迁到 $|m\rangle$ 态的跃迁几率为

$$W = \frac{2\pi}{h} |\langle m | eE(t)x/2 | k \rangle|^2 \delta(\omega_{mk} \pm \omega) \quad (5)$$

其中 e 为电子电荷, $E(t)$ 为电场强度峰值, ω 为激光频率, ω_{mk} 为酶分子的固有频率。

利用一维无限深势阱的波函数

$$\psi_k(x) = (2/L)^{1/2} \sin(k\pi x/L) \quad (6)$$

计算得

$$W = \frac{\pi e^2 E^2(t)}{2h} |x_{mk}|^2 \delta(\omega_{mk} \pm \omega) \quad (7)$$

其中

$$x_{mk} = \frac{4mkL}{\pi^2} \cdot \frac{(-1)^{m+k} - 1}{(m^2 - k^2)^2} \quad (8)$$

(8) 式表明跃迁选择定则: 初态与末态奇偶不同。

4 小结与讨论

4.1 理论小结

由(7)式可知, 仅当 $\omega = \pm \omega_{mk}$ 或 $E_m = E_k \pm h\omega$ 时, 酶分子中电子的跃迁几率 W 才不等于零。这就是说, 只有当外界照射的激光含有频率 ω_{mk} 时, 酶分子中的电子才能从 k 态跃迁到 m 态。所以, 不同频率的激光照射酶分子, 只有当激光的频率与酶分子的某些能级间的固有频率相接近时, 才能在酶分子的这些能级间产生电子跃迁。一旦电子被激发, 它的量子数就从 n 增大到 $n' = n + \Delta n$, 阱壁压力也随之增大, 那么就打破了原来的平衡状态, 阱壁开始移动, 当阱壁移动到某一新位置 $L' = L + \Delta L$ 处又达到了新的平衡, 如图 2。在这过程中, 电子所做的功为

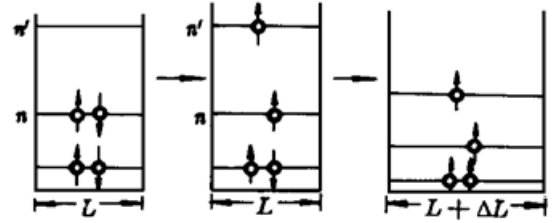


图 2 电子-构像相互作用示意图

Fig. 2 A sketch of electron-conformation interaction

$$A = (f' - f)(L' - L) = \frac{h^2}{4m} \left[\frac{n'^2}{L'^3} - \frac{n^2}{L^3} \right] \Delta L \tag{9}$$

结果阱壁被拓宽。而阱壁代表原子核, 生物大分子中原子核的移动就相当于构像变化, 因此, 系统中电子状态的改变直接改变了系统的构像。与此同时, 酶促反应的活化势垒也随之降低, 因而激发电子做了构像功, 于是激发了酶的活性。

电子跃迁几率与外加场的场强平方成正比, 外场越强, 电子激发速率越大, 越有利于降低活化势垒, 可能加速了酶催化反应进程。但是, 并非外场越强越好, 当外场场强超过某一值时, 酶可能被激光钝化, 造成酶活性下降。因此, 可能存在最佳场强剂量。

4.2 与实验结果的比较

文献[1]的实验结果为: (1) 玉米种子经 3.8 mW/mm^2 和 5.4 mW/mm^2 的 He-Ne 激光照射后, 除 5.4 mW/mm^2 激光照射种子的二叶期幼苗的叶和根外, 其余各组叶和根中 POD 活性均提高。虽然, 5.4 mW/mm^2 组幼苗在二叶期 POD 活性同于或略低于对照, 但到三叶期活性上升幅度较大; (2) 经激光照射干种子后, 其二、三叶期玉米幼苗叶及根中, CAT 活性均提高; (3) 以 2.8 mW/mm^2 , 3.8 mW/mm^2 和 5.4 mW/mm^2 的 He-Ne 激光照射种子, 除 2.8 mW/mm^2 照射 5 s 和 50 s 组的二叶期幼苗叶外, 其余各处理组的叶和根中 AsAPOD 的活性均低于相应的对照组。在相同照射时间内, 酶活性下降幅度一般有随照射功率密度的提高而增大的趋势。

文献[8]的实验结果是: 分别用 CO_2 和 He-Ne 激光照射小麦萌动种子, 其叶片中的酯酶同功酶的活力显著高于对照组, 而且激光的效用强弱为: $\text{CO}_2 > \text{He-Ne} > \text{对照组}$ 。

这些实验结果可能是电子-构像相互作用所致。

但是由于酶分子的结构很复杂, 改变酶活性的因素很多, 也许电子-构像相互作用只是提高酶活性因素之一。激光照射生物体, 是否可使酶分子结构有其它变化, 从而激发酶的活性, 还需深入研究。

参 考 文 献

1 蔡素雯, 苑春慧, 崔晓慧 等. He-Ne 激光对玉米幼苗 POD 和 CAT 活性的影响. 应用激光, 1993, 13(4): 181~ 184

- 2 蔡素雯, 赵雪淞, 卢凤涛 等. He-Ne 激光对玉米幼苗活性氧代谢的影响. 中国激光. 1994, **A21**(9) : 767~ 769
- 3 Antonov M. *et al.*. Effect of maize seed laser irradiation on plant photosynthetic activity. B. A. 1986, **82**, No. 38567
- 4 颜思旭, 蔡红玉 编著. 酶催化动力学原理与方法. 厦门: 厦门大学出版社, 1987, 63~ 92
- 5 李庆国, 汪和睦, 李安之. 分子生物物理学. 北京: 高等教育出版社, 1992, 607~ 612
- 6 冯启元, 冯 璐 著. 激光物理学. 呼和浩特: 内蒙古教育出版社, 1990, 184~ 192
- 7 许梅芬. 激光对小麦的生物学效应的研究. 应用激光, 1995, **15**(3) : 131~ 134

On Laser-raised Enzyme Activity

Wang Jing Guo Weisheng*

(*Department of Physics, Inner Mongolia Normal University, Huhehaote 010022*

** Department of Physics, Inner Mongolia University*)

Abstract By the electron-conformation theory, the influence of laser field on enzyme activity is studied. The results show that laser field is advantageous to activation of enzymes.

Key words activity of enzymes, laser field, electron-conformation interaction