

激光频率对 DNA 分子混沌态影响的研究

邵耀椿 封国林

(扬州大学农学院基础部, 江苏, 扬州, 225009)

摘要 通过对激光与 DNA 作用的运动方程迭代求解和关联维计算, 讨论了不同激光频率对 DNA 分子系统混沌行为的影响, 并对较大的激光频率范围内均能引起生物的遗传变异现象进行了解释.

关键词 激光频率, DNA, 分数维, 混沌, 遗传变异.

引言

我们曾根据量子生物学理论讨论了 He-Ne 激光引起 DNA 突变的机理^[1], 对 He-Ne 激光引起 DNA 突变作了解释, 但还不能推广到其它波长的激光. 非线性科学、系统科学和混沌理论的兴起, 为研究复杂系统的性质和规律提供了新的思想和方法. 近几年来, 从混沌理论出发, 利用动力系统, 分岔理论等方法, 在生物化学、生态学等领域内围绕复杂系统的结构和演化规律取得了一定的成果, 开展了许多有意义的研究工作^[2-3]. 文献 2 通过 Lyapunov 指数和 Melnikov 方法分析了激光与 DNA 的作用行为, 认为可能是混沌状态. 本文则对激光与 DNA 相互作用运动方程迭代求解, 发现它是通过倍周期分岔进入混沌的, 又对混沌运动特征量分数维进行了计算, 其结果表明: 激光作用确实能使 DNA 处于混沌状态; 本文还对激光频率对 DNA 进入混沌状态的影响进行了研究, 这是目前需要深入研究的课题.

1 激光与 DNA 作用运动方程的混沌行为及关联维分析

Englander 和 Yomosa 等人提出的 DNA 双螺旋结构的孤子理论, 对 DNA 的复制、转录等遗传功能作了解释. 由 Englander 的弹簧连接单摆模型及 Yomosa 的基转子模型所导出的 DNA 分子动力学方程, 可转化为 Sine-Gordon 方程

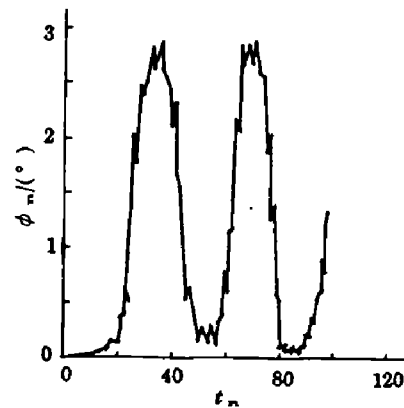
$$A \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + B \sin \varphi = 0, \quad (1)$$

式(1)中 φ 表示 DNA 分子两基转子相对于平衡位置的角移(扭转角), A 是一个与 DNA 链堆积能、碱基对间距等量有关的参数, B 是碱基与相邻碱基相互作用及碱基对的局域相互作用常数相关的量^[4,5]. 在式(1)的基础上, 加入激光作用后, 就可以得出激光与 DNA 分子相

相互作用的运动方程. 在激光生物物理学研究中, 一般弱激光与 DNA 相互作用是激励效应. 这里只考虑激光的电场作用, 其作用量为 $E \cos \omega t$ 其中 E 为激光电场对 DNA 中电荷和电偶矩作用的电场力, ω 为激光频率, t 为时间. 因为生物体内 DNA 总是处于水溶质环境, 所以在激光作用下, DNA 系统运动将会受到阻尼, 这里作线性阻尼处理, 大小取为 $\gamma \frac{\partial \varphi}{\partial t}$, 则可在方程(1)的基础上写出弱激光对 DNA 分子激励效应的运动方程:

$$A \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + \gamma \frac{\partial \varphi}{\partial t} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + (B + E \cos \omega t) \sin \varphi = 0.$$

图 1 $\omega' = 10$ 时, 式(4)的迭代值
(2) Fig. 1 Iteration value of Eq. (4) for $\omega' = 10$



我们只考虑系统随时间演化的情况, 所以这里仅研究系统在空间某处的运动状态, 即研究式(2)相应的“空间无关”方程, 即为

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{\gamma}{A} \frac{d\varphi}{dt} + \left(\frac{B}{A} + \frac{B}{A} \cos \omega t \right) \sin \varphi = 0,$$

令 $a = \frac{\gamma}{A}$, $b = \frac{B}{A}$, $C = \frac{E}{A}$, 则上式为

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + a \frac{\partial \varphi}{\partial t} + (b + c \cos \omega t) \sin \varphi = 0. \quad (3)$$

式(3)是在有阻尼情况下, 描述激光对 DNA 分子作用随时间演化的运动方程, 式(3)要精确地求解析解是很困难的, 所以改用差分法进行数值求解. 首先将式(3)写成二阶差分方程

$$\varphi_{n+1} = (2 - ad)\varphi_n - (1 + ad)\varphi_{n-1} - d^2(b + c \cos \omega t_n) \sin \varphi_n; \quad (4)$$

其中 $d = t_{n+1} - t_n$; 取 $a = 0.01$, $b = 0.001$, $c = 0.923$,^[2] 并设 $\omega = \omega' f_0$, f_0 为一常数. 对 ω' 取不同的值, 进行迭代数值计算, 计算结果表明该系统通过倍周期分岔进入混沌状态. 当 $\omega' = 10$ 时, 式(4)的迭代结果如图 1 所示, 它表明方程(3)所描述的系统进入混沌状态, 为进一步计算 DNA 系统的分数维提供了可能. 对于混沌运动, 存在着奇怪吸引子. 奇怪吸引子作为相空间的子集合, 是一个分形几何体, 具有分数维, 它是描述混沌运动的特征量. 下面用关联维来计算分数维, 关联维定义^[6]为

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln C(r)}{\ln(r)};$$

设一维时间序列为 $\{X(t_i)\}$, 其中 $i = 1, 2, \dots, N$. 在 n 维相空间中, 将一维时间序列漂移, 从而获得一组新的序列: $\{X(t_i), X(t_i + \tau), \dots, X(t_i + (N-1)\tau)\}$. 选取其中某点 X 为参考点, 则定义 $|X - X_i|$ 为点 X 与 $N-1$ 个点 X_i 的距离. 再给出一个数 r , 对所有 i 值按下式计算统计量

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j}^N Q(r - |X_i - X_j|),$$

其中 Q 为 Heaviside 函数, 记 $P = (r - |X_i - X_j|)$, 当 $P < 0$, 则 $Q(P) = 0$; 当 $P > 0$, 则 $Q(P) = 1$. 选择 r 的取值, 使 $0 < C(r) < 1$, $C(r)$ 为吸引子的关联函数, 则关联维为

$$D = \left| \frac{\ln C(r)}{\ln r} \right|. \quad (5)$$

根据式(4)与式(5)分别可得 $\ln[C(r)] \sim \ln r$ 与 $D \sim n$ 曲线图(见图 2 和图 3). 从图 2 可见, 当 $\omega' = 10, n = 5$ 时, 曲线 $\ln[C(r)]$ 的斜率达到饱和; 进而可求得吸引子分数维 $D = 2.7$. 我们根据文献[7]计算关联维, 并分别用 Snith 与文献 7 给出的 N 的关系式 $N_{\min} \geq 42^M$ (M 为分数维的整数部分) 和 $N_{\min} > \sqrt{2} (\sqrt{27.5})^D$ 关系式来计算, 两者计算结果重合, 说明文献 7 给出的关系式在本问题的研究中是有效的, 它有助于计算分数维.

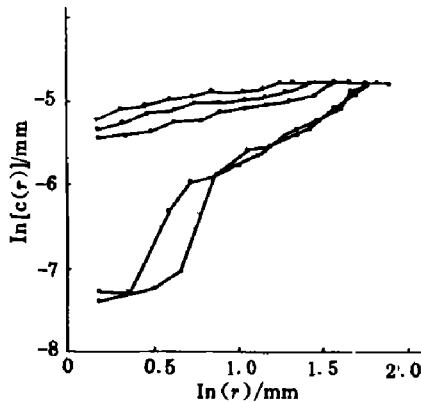


图 2 $\omega' = 10$ 时, DNA 系统的关联函数
Fig. 2 Correlation function of
the DNA system as $\omega' = 10$

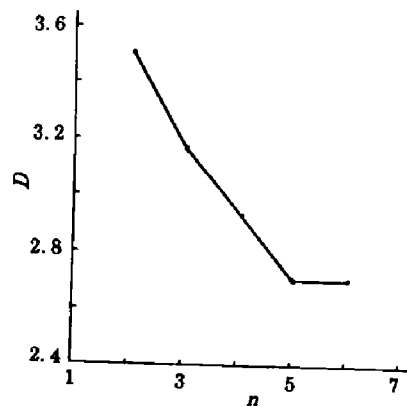


图 3 分数维与不同 n 的关系
Fig. 3 Fraction dimension as a function of n

3 激光频率对 DNA 分子混沌形态的影响

在激光生物学的遗传效应研究中, 我们探讨了不同的 ω' 值对 DNA 分子系统的混沌形态的影响. 对式(4) ω' 取 0~16 (其余参数不变) 进行计算, 其结果表明: ω' 从 1.2 到 15, 式(4) 迭代值出现倍周期分岔, 而且均存在着分数维, 如 $\omega' = 1.2$ 时, $D = 2.96$; $\omega' = 15$ 时, $D = 2.78$ 等, 表明系统进入混沌状态. 但 $\omega' = 0$ 或 1 及 16 时, 其迭代值没有出现倍周期分岔(见图 4), 这表示一般静电场作用在 DNA 分子上, 结果不出现混沌状态. 有关静电场生物效应的实验报道, 多为生理效应和作物生长刺激效应^[8,9].

上述研究表明激光频率有一个较宽的范围能使 DNA 分子系统进入混沌状态.

我们还探讨了在没有激光作用时, 方程(3)在有阻尼和无阻尼下的两种情况, 结果两者的迭代值均没有出现倍周期分岔(见图 5), 图 5 中实线为无阻尼情况, 虚线为有阻尼情况. 说明在本研究条件下, 没有激光的作用, DNA 分子系统不会进入混沌状态.

上述研究表明, DNA 分子系统是在外界强迫力—激光诱导作用下进入混沌状态, 从而

引起变异;若无外界影响,生物体系是一个稳定的体系.

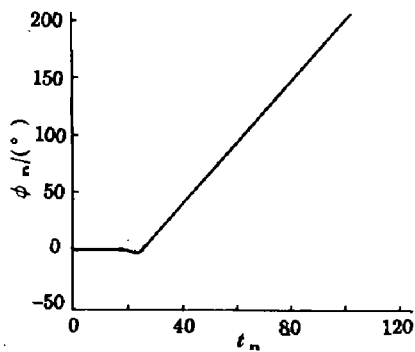


图 4 $\omega' = 0$ 时,式(4)的迭代值

Fig. 4 Iteration value of Eq. (4) for $\omega' = 0$

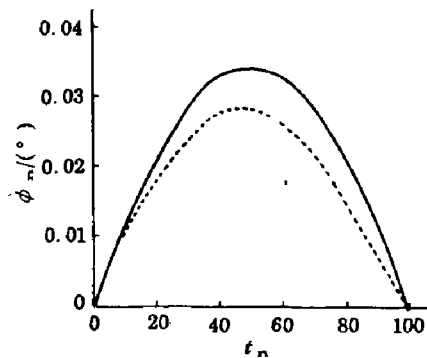


图 5 无激光时式(4)的迭代值

Fig. 5 Iteration value of Eq. (4) for the case without laser

4 讨论

实验证明激光对生物有遗传效应,并在激光遗传育种中取得了不少可喜的结果^[10].但激光是如何引起 DNA 变异,目前尚未见到合理的解释.我们用混沌理论作了较好的解释.

众所周知,DNA 是生物遗传信息的载体,Englander 和 Yomosa 等的研究对 DNA 的复制、转录等遗传功能作了解释.我们的研究表明,激光作用使 DNA 进入混沌状态后,破坏了 DNA 原来有序的运动状态,干扰遗传信息,影响 DNA 分形,从而导致遗传变异.研究还表明激光在一很宽的频率范围内均能使 DNA 分子进入混沌状态,也即都有可能使 DNA 发生变异,这与我们实验研究结果是相一致的.文献[11]也指出,在激光生物学实验中,从可见光到红外的较广的频率范围均能产生遗传变异.我们研究得出的频率范围比值($\omega'_{\max}/\omega'_{\min}$)为十几倍,与实验研究中所使用的频率范围比值($\omega_{\max}/\omega_{\min}$)是相近的.

在激光遗传育种研究中,虽然使用同一类激光器的同一波长,且具有相同参数,甚至外界环境也相同,但是得到的结果并不相同,即没有重复性.这是因为激光及环境,包括生物体本身的一些随机因子,有一些微小的差异.根据混沌理论,这对于处在混沌状态的 DNA 来说,可以有截然不同的发展方向和遗传变异结果.这就解释了激光育种伴有随机性的现象和重复性差的原因.

我们用混沌理论初步解释了激光生物学中遗传效应的一些现象.说明了应用混沌理论来研究激光生物学的机理是有意义的,且有诱人的前景.佐治亚理工学院的 William L. Ditto 与美国海军研究实验室的 Louis M. Pecora^[12]提出可以控制某些混沌系统.因此,如果我们研究清楚其机理,并控制混沌,将可更好地开展激光生物学研究,进而控制生物遗传的变异.

参考文献

- 1 邵耀椿,等.激光生物学,1992,1(3):104~108
- 2 周凌云.原子分子物理学报,1993,10(2):2723~2727

- 3 周凌云. 昆明工学院学报, 1994, **19**(4):112~118
- 4 Englander S W, *et al.* *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1980, **77**:7222~7226
- 5 Yomosa S. *Phys. Rev. A*, 1984, **30**:474~480
- 6 Nicolis C. *Tellus*, 1987, **39A**(1):1~10
- 7 洪时中, 洪时明. *物理学报*, 1994, **43**(8):1229~1233
- 8 阎立, 等. *园艺学报*, 1988, **15**(2):115~118
- 9 马福荣, 等. *生物物理学报*, 1993, **9**(1):174~177
- 10 陈震古. *激光生物学*, 1992, **1**(3):99~103
- 11 陈震古. *中国激光*, 1987, **14**(6):382~384
- 12 Ditto W L, *et al.* *Physical Review Letters*, 1990, **65**(26):3211~3214

STUDY OF THE INFLUENCE OF LASER FREQUENCY ON DNA CHAOS

Shao Yaochun Feng Guolin

(Department of Basic Science, The Agricultural College of Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract By solving the laser-DNA interaction equation and calculating the correlation dimension, it was concluded that the DNA molecules system can be excited into the chaos state by laser. The influence of different laser frequencies on the DNA system chaos was discussed and the genetic variation phenomenon caused by laser in a large frequency range was explained.

Key words laser frequency, DNA, fractional dimension, chaos, genetic variation.