盘基网柄菌聚集图式的初值敏感性[1)]

赵 峰[*,2)] 陶祖莱[+]

([*]北京航空航天大学生物工程系，北京 100083)

([+]中国科学院力学研究所国家微重力实验室，北京 100080)

盘基网柄菌(*Dictyostelium discoideum*)因为其独特的生命周期成为发育生物学特别是生物学图式形成（biological pattern formation）广泛研究的模式生物。盘基网柄菌的聚集主要是由环腺苷单磷酸（cAMP）诱导的。饥饿的细胞脉冲发射 cAMP，将其邻域细胞引诱向一个中央位置。cAMP 信号只能传播大约 6 个跨膜细胞结构距离，在这个邻域内的细胞的表面受体蛋白检测到信号后将做出两种应答：向信号发射源以大约 2 个细胞直径每 10 秒的速度迁移；经过大约 12 秒的延迟后发射自身的 cAMP 信号。这样相当于中心细胞的 cAMP 信号逐步向周围传递开去，并诱导细胞向中心聚集。

基于盘基网柄菌阿米巴细胞对诱导信号 cAMP 的应答只是对其波前敏感的实验事实，本文提出 cAMP 信号对细胞的聚集行为只是起到一种“诱导开关”的作用。在此“诱导开关”的概念下，运用元胞自动机（cellular automata）方法建立了盘基网柄菌聚集图式的一种新的完全离散化模型，并对一些典型情况进行了模拟，得到了一些与实验定性上一致的结果。

选用四边形元胞，每个网柄菌由网格中的一个元胞表征，无内部结构，细胞在聚集过程中无增殖、分化、凋亡等。阿米巴细胞在接收到 cAMP 信号后将向信号源痉挛性定向迁移，同时，细胞还在进行随机热运动。定义系统的状态空间为：pf=(-1, 0, 1, 2, 3) = (central cell, empty, waiting, delaying, signaling and moving)，并规定在聚集过程中的转化规则为

$$pf_{t+1}(x,y)=\begin{cases}-1 & central\ cell\\ 1 & \begin{array}{l}(pf_t(x,y)=3\ \&\ t_{cl}(x,y)=0)\\ \quad \text{or}\ (pf_t(x,y)=0\ \&\ a\ cell\ arrived)\end{array}\\ 2 & pf_t(x,y)=1\ \&\ nnz(x,y)\geq 1\\ 3 & pf_t(x,y)=2\ \&\ t_{cl}(x,y)=(t_r-t_d)\\ 0 & empty\ or\ (pf_t(x,y)\geq 1\ \&\ the\ cell\ left)\end{cases}$$

其中 $nnz(x,y)$为波前到达元胞 (x,y) 的信号源数目，t_{cl}为细胞时钟，t_r为细胞响应周期，t_d为细胞收到信号后的延迟时间。

比较系统地考察了各种控制参数对于盘基网柄菌聚集图式的影响情况，其中 cAMP 信号的传播波型、初始细胞密度、中心细胞的信号发射周期、迁移细胞对信号的响应周期等都会对聚集图式有着显著的影响。研究还表明，聚集区域内阿米巴细胞的初始响应间期(interphase，即在饥饿中心细胞发射首次信号开始，细胞由间期细胞转化为能接受信号并做出应答的活跃细胞所需的时间，将对聚集图式的有一定的影响，有时十分显著，这种影响很好地反映出生物复杂非线性系统的演化对于初值的敏感性。当条件适宜时，中心细胞仅仅发射一次信号就可以诱导出大规模的细胞聚集过程，在这种聚集过程中将出现自我循环的闭环或其他连续诱导信号的结构。

致谢 衷心感谢中科院力学所龙勉研究员、胡江博士、张毅奕博士等人的诸多帮助和讨论。

1) 国家重点基础研究发展规划(973)项目(G1999054307)，国家自然科学基金重点项目(10332060)，中国科学院创新方向性项目(KJCX2- SW-L06)的资助项目

2) E-mail:fredfzhao@sina.com

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net