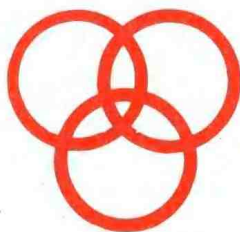


生物医学物理研究

第三卷

第五届全国生物医学物理研讨会 编

张少平 马莉 刘宏清 张沪生 主编



电子科技大学出版社

[川]新登字 016 号

生物医学物理研究

第三卷

第五届全国生物医学物理研讨会 编

张少平 马莉 刘宏清 张沪生 主编

*

电子科技大学出版社出版

(成都建设北路二段四号)邮编 610054

武汉大学计算机软工工程国家重点实验室激光照排

电子科技大学出版社印刷厂印刷

新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 16 字数 500 千字

版次 1994 年 8 月第 1 版 印次 1994 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—500 册

ISBN 7-81043-078-5/O·6

定价:20.00 元

前 言

第五届全国生物医学物理研讨会于1994年8月在湖北省宜昌市召开，代表来自全国24个省市，参加会议的主要单位有：

南开大学	南京大学
湖南大学	重庆大学
海南大学	安徽大学
辽宁大学	内蒙古大学
江汉石油学院	湖北工学院
武汉纺织工学院	中国地质大学
华中师范大学	山东师范大学
江西师范大学	同济医科大学
上海医科大学	湖北医科大学
第三军医大学	第四军医大学
山西医科大学	贵阳医学院
河南中医学院	广东医药学院
北京中医药大学	牡丹江医学院
白求恩医科大学	新疆石河子医学院
北京军区总医院	北京积水潭医院
天津市第二医院	天津市解放军254医院
解放军第三医院	宜昌市中心人民医院
武汉大学等	

从事生物学、医学、农学、物理学的医生、教师和科技工作者，大家欢聚一堂，共同探讨生命科学的奥秘，这是我国学术界一次重要的研讨会。

本次研讨会，从3月8日征文开始，至6月底征文截止，在短短的三个月中，我们共收到论文近200篇，征文速度之快，这本身就说明了生物医学物理学，这一新兴的交叉学科具有强大的生命力和时代性。

本书对征文中的145篇论文编辑成卷,以供同行参考。书中主要分:生物物理学、医学物理学、生物医学物理中的新技术新仪器、理论物理学、应用物理学、计算机科学、教学与研究等专题。对文中不同学术观点,本着“百家争鸣”的精神,给予保留,以利学术活动的开展。由于时间短促,对书中的编辑错误,敬请读者批评指正。

负责筹备和组织此届研讨会的单位有:

湖北省物理学会生物医学物理专业委员会

武汉市物理学会生物医学物理专业委员会

武汉生物物理学会

武汉大学物理系

武汉大学物理系生物医学物理教研室

武汉大学物理系第二基础课教研室

武汉市洪山文教技术研究所

本书主要由刘宏清、张沪生、马莉、张少平、黄兴鼎、赵有伦等负责组稿和编审。各部分负责人员:张少平(第一部分),马莉(第二部分),张沪生(第三部分),刘宏清(第四、五部分)。负责编务工作的有赵英华、张友珠、池永凯等。

在本书出版中得到武汉市科协的资助,同时也得到很多热心的作者和读者给予的支持和帮助,在此一并表示感谢!

生物医学物理研究(第三卷)编委会

一九九四年八月于武昌珞珈山

目 录

第一部分 生物物理学

具有辐射型边界条件的酶—底物结合反应动力学	田巨平 (1)
水螅形态发生模型的球对称定态结构	田巨平 (3)
水螅形态发生模型的球对称含时解	田巨平 (5)
一类形态发生模型的线性稳定性分析	田巨平 (8)
一类形态发生模型的定态解	田巨平 (10)
一类形态发生模型的含时解	田巨平 (12)
Deneubourg 模型的球对称定态结构	田巨平 (14)
一类生化反应体系动力学的完整解	田巨平 (16)
一类三分子反应模型的定态球对称高级近似解	田巨平 (17)
带扩散第二功能反应模型的线性稳定性分析	田巨平 (19)
酶—单、双底物稳态动力学参数的估算	万 弘等(21)
bR 生物分子位相共振的时间特性	罗 莉等(25)
生物 bR 分子共振与非共振三阶线性极化率	罗 莉等(28)
bR 分子光蚀孔的理论分析	汪洪海等(30)
生物 bR 分子光功能材料及其特征的研究	张 靖等(32)
酶标仪比浊法检测蛇毒效价的研究	熊顺华等(34)
TS 对小鼠腹水瘤细胞超微结构变化的影响	曹明智等(37)
慢性镉中毒小鼠肾近端小管细胞核形态计量学研究	李光鼎等(38)
低频脉冲磁场对小白鼠白细胞影响规律的实验研究	巨宏博等(40)
硫酸化高山红景天多糖对病毒小鼠血液中 LPO 含量和 SOD 活性变化的影响	孙 非等(44)
弱激光和复合白光所做家兔 ERG 的对比	张永就等(46)
鸡胚发育过程中蛋黄物质液晶化现象与其热力学机理	林竞荣 (48)
电磁场对大豆种子活力及根瘤生长的研究	刘宏清等(50)
静电场对大麦种子影响的几项测定	李金梅等(52)
植物绿叶的可见光透射光谱	张少平等(55)
磁化水的粘度变化及其生物作用机制的探讨	许 昆等(56)
磁化作用对水 PH 值的影响	周菊香等(57)
胆甾型液晶热光特性研究	于国萍等(59)
手厥阴心包经生物电位动力学特性	杨文修等(61)
经络直流电导动力学的研究及临床意义	许文胜等(62)
肱骨髁上骨折发病的力学分析	范启霞 (63)
六轴导联系统中心电轴测算的理论初探	夏 蔚等(65)
肝细胞生长因子的光谱学初步研究	姜世明等(67)
—50℃ 无血清冻存人胎肝细胞的研究	张振宇等(70)
高山红景天多糖对感染 COXB ₂ 病毒培养细胞超微结构变化的影响	孙 非等(73)

环境电磁污染对少年血清 T_3 、 T_4 的影响	陈向伟等(75)
益气补肾方剂对磁场诱发的 SCE 与 DNA 损伤的作用	陈裕明等(77)
各类血管中流阻大小的理论探讨	党春兰等(79)
胆结石疗法优劣分析方法	刘海标 (81)
低能重离子的生物医学运用及作用机理	黄兴鼎等(83)

第二部分 医学物理学

磁生物医学近几年来的一些进展	谭国明等(85)
视屏(VDT)作业人员心电图的观察	刘文魁等(88)
光纤血气分析研究	王之澄等(91)
心率变异性的研究	宁新宝等(94)
胃电记录:测试、分析和应用	刘礼恩等(95)
反应早期癌病变的耳穴阻抗特性	朱 兵等(99)
耳穴二维变量模型	朱 兵等(101)
毛细血管法与锥板粘度计测定血浆粘度的相关性分析与比较	叶向前等(104)
力学因素在动脉粥样硬化形成中的作用	吴明海等(106)
人体体表荧光和健康信息	肖新民等(108)
-50℃无血清冻存人肝癌细胞株 SMMC-7721 的研究简报	姜世明等(109)
体内磁场促进骨折愈合的实验研究	续力民等(110)
胆外瘘保守治疗体会	丁宝宜等(113)
前列腺增生术后止血方法的探讨	丁宝宜等(115)
慢性前列腺炎按摩方法	程基尚等(117)
“康宁饮”解酒作用的研究	李汉先等(118)
绞窄性肠梗阻 72 例诊治体会	孙 贤等(121)
主动脉根部前后壁活动曲线的分析	王道一等(123)
对肌肉运动的探讨	边佩蓉等(125)
微波及其医学应用	边佩蓉 (127)
紫外线消毒的原理及应用	边佩蓉 (132)
热力消毒的原理及应用	边佩蓉 (134)
影响麻醉蒸发器输出浓度的稳定因素和非稳定因素	宋立新等(136)
口腔外科手术的麻醉 100 例分析	马晓发 (138)
高压氧治疗	魏洁有 (140)
物理因素影响内镜检查效果的分析	周国风 (141)
血液生化与 MR 信号分析	谭孝华等(142)
CT 应用临床效率与相关因素的探讨	宋中善 (144)
影响电休克治疗效果的有关因素分析	李 黎 (146)
感冒通引起小儿肉眼血尿四例	文体贞 (147)
不同磁化杯(器)磁化盐水对人血清 GPT 活性影响探讨	李晓媛等(148)
不同磁化杯(器)磁化盐水对人血清 GOT 活性影响探讨	陈颖琦等(150)
关于医用电子直线加速器的应用	程方荣等(152)
火罐治疗 80 例疗效观察	王庆荣 (153)

B 超诊断输尿管囊肿一例	李文莉等(155)
--------------------	-----------

第三部分 生物医学物理中的新技术

超低频脉冲电磁场发生器对 S—180 肉瘤的抑制作用	张沪生等(156)
脉冲磁场刺激器的研制及初步应用	文 峻等(158)
HD—801 型多功能治疗仪治病的机理探讨	张沪生等(160)
HD—801 型多功能治疗仪治疗乳腺病的临床观察	郑淑洁等(162)
核磁共振成像技术在冠心病研究中应用进展	钱立平等(164)
波谱疗法的临床观察	周万松等(165)
多功能频谱治疗仪对手术后切口照射的疗效观察	吴小弟 (167)
旋转磁场体外化解胆结石的实验研究	曾瑞云等(168)
光谱法研究磁场疗法排出的草酸钙输尿管结石	黄兴鼎等(171)
紫外血疗仪辐射剂量的监控	陈炳荃等(174)
肌电反馈治疗临床应用有关问题的讨论	王惠利等(176)
磁化烧伤膏治疗烫伤 100 例疗效报导	林信良等(178)
激光治癌的微观机理	陈五高等(180)
激光针灸的热效应机理	李 健等(182)
激光针灸中的能量分布	李 尉等(184)
光动力学疗法(PDT)治疗晚期癌症 72 例报告	丁宝宜等(187)
影响医学的分类及发展趋势	陈文彬等(189)
直流电离子导入治疗慢性前列腺炎	杨 斌等(193)
体外冲击波碎石 406 例总结(讨论结石的预防)	李玉魁等(195)
介入技术在泌尿外科的应用	李玉魁等(196)
经尿道微波治疗前列腺肥大	庄建平(197)
体外冲击波碎石治疗输尿管结石	孙 贤等(200)
ESWL 治疗肾输尿管结石 986 例	童福坤等(201)
双 J 支架管在输尿管手术中的应用	杨 斌 (203)
利用物理灭菌法进行手术室消毒的体会	曹广坚 (204)
脉冲式超声多普勒诊断技术原理(篇一多普勒频移)	王道一等(206)
脉冲式超声多普勒诊断技术原理(篇二脉冲重复频率与血流速度)	王道一等(208)
影响 NMRI 图像质量的因素	周志尊等(212)
B 超引导下对宫腔残留及异常妊娠的清刮宫手术治疗评价	李文莉等(214)
用激光散斑电脑验光仪测定眼睛的调节范围	龙长应等(216)
偏振光干涉型光纤医用温度传感器	金祥瑞等(219)
医学图像处理新技术——正电子发射层析照相	马 莉等(221)
针刺麻醉下阑尾手术的体会	黄晓玲 (225)
氩氦激光治疗丹毒之我见	王巧美 (227)
磁穴疗法治疗神经衰弱 83 例临床观察	杨 茹 (228)
气功外气对 RPM1 1640 液电导率影响的研究	李宗山等(229)
阿尔及利亚胆结石的红外光谱分析	黄晓玲等(231)
用全息干涉法测量测试人体股骨的杨氏模量	邱美玲 (233)

气功外气对细胞免疫的双向调节效应研究.....	李宗山等(236)
-------------------------	-----------

第四部分 理论物理 应用物理 计算机科学

浅论高等量子力学中运动方程的三种绘景.....	魏华江 (239)
约瑟夫森效应.....	金祥瑞等(241)
磁质谱分析系统的研究.....	郭玉华等(244)
α 衰变的量子解释.....	魏华江 (248)
中阻值导电塑料的导电机理.....	李宏建 (251)
超导量子干涉仪的原理与应用.....	金祥瑞等(253)
WIEGAND 磁敏丝用于小口径椭圆流量计的研究.....	杨 阳 (255)
相干检测日照计.....	黄笃之等(258)
宇宙有路.....	陈大荣 (260)
合肥国家同步辐射实验室概况与研究进展.....	刘宏清等(263)
神经网络语音识别.....	陈绍强等(268)
键盘—显示板 FD—31—53 的快速检查.....	王 磊 (272)
示波器 CRT 字符显示的实现.....	郑 胜 (274)
怎样连接单片微机与接口芯片 8155 的复位端.....	王 磊 (277)
题库及其管理系统.....	李 清等(278)

第五部分 教学与研究

有关普通物理学与实验改革的探讨.....	刘宏清等(283)
有关以实验为主的启发式教学的探讨.....	阎正明 (286)
谈谈静电(磁)场中麦克斯韦场强张量.....	熊建平 (288)
设计型实验的研究.....	阎正明 (290)
大学物理学中物理模型教学浅议.....	赵有伦等(292)
医药院校物理实验课改革的几点体会和设想.....	魏华江 (294)
EB 的定性分析方法.....	石玉珠 (296)
谈光学教学中单球面公式的推导.....	许 昆 (298)
布卢姆物理教育目标分类法及应用.....	康立志等(300)
医学专科学校物理教材改革进一步探索.....	姜春荣 (304)
从实际出发做好电化教学工作.....	潘德旺 (306)
加强概念教学、促进思维发展.....	许敏舒 (308)
第三届全国生物医学物理研讨会纪要.....	杨文修 (311)
第四届全国生物医学物理研讨会纪要.....	张沪生 (313)
第五届全国生物医学物理研讨会纪要.....	宁新宝等(314)
第一届全国磁医学学术会议信息.....	刘宏清等(316)

具有辐射型边界条件的 酶——底物结合反应动力学

田巨平(江汉石油学院基础部)

酶(E)—底物(S)结合反应已有许多研究^[1-3],本文得到了一个较普遍的球对称反应动力学公式。从福克—普朗克方程出发,设扩散系数D为恒量,我们可得S分子的反应扩散方程

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} = D \Delta C \\ C|_{r=R_0} = C_{R_0} \\ C|_{r \rightarrow \infty} = C_0 \\ C|_{t=0} = C_0 \end{cases}$$

容易求出其球对称解

$$C = C_{R_0} + (C_0 - C_{R_0}) \left[1 - \frac{R}{r} \operatorname{erfc} \frac{r - R_0}{2\sqrt{Dt}} \right]$$

故有扩散通量

$$I = \iint_{R_0} (-DVC) \cdot ds = 4\pi D(C_0 - C_{R_0}) R_0^2 \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{\sqrt{\pi Dt}} \right)$$

及速度常数

$$K(t) = 4\pi D \left(1 - \frac{C_{R_0}}{C_0} \right) R_0^2 \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{\sqrt{\pi Dt}} \right)$$

C_{R_0} 可由文献[4]的方法导出

$$\begin{aligned} C_{R_0} &= \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \int_0^{\sqrt{2\pi/\pi}} C_0 \left(\frac{m^*}{2\pi KT} \right)^{\frac{3}{2}} \exp \left(-\frac{m^* v^2}{2KT} \right) v^2 \sin \theta d\theta d\varphi dv \\ &= \left(\operatorname{erfc} \sqrt{\frac{e_a}{KT}} - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{e_a}{KT}} e^{-e_a/KT} \right) C_0 \end{aligned}$$

由于感兴趣的一般是定态,故可求得极限速度常数

$$K_\infty = 4\pi D R_0 \left[\operatorname{erfc} \sqrt{\frac{e_a}{KT}} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{e_a}{KT}} e^{-e_a/KT} \right]$$

当活化能 $e_a=0$ 时,上式即为 Smoluchowski 公式,定义有效半径

$$R^* = \left[\operatorname{erfc} \sqrt{\frac{e_a}{KT}} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{e_a}{KT}} e^{-e_a/KT} \right]$$

就有

$$K_\infty = 4\pi D R^*$$

它与 Smoluchowski 公式的形式完全相同。

以碳酸酐酶和碳酸的反应为例,我们所得到的新公式与用碰撞反应动力学计算结果^[5]均与实验符合(见表1)

表1 在不同活化能下的 ES 反应二级速度常数,表明反应系统的活化能很小 $K(10^{10} \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$

$K \searrow \epsilon_a / KT$		0.0000	0.0001	0.01	0.64	1	4
K_{∞}		1.0596	1.0595	1.0588	0.7776	0.6065	0.0488
$K^{(1)}$	$\theta=0$	7.2793	7.2786	7.2069	3.8383	2.6779	0.1333
	$\theta=10^\circ$	1.8338	1.8336	1.8155	0.9669	0.6746	0.0913

参 考 文 献

1. Alberty, R. A. & Hammes, G. G., J. phys Chem, 1958, (62), 154.
2. 李子才、周国城. Scientia Sinica. 1975, (18), 664.
3. 周国治. 中国科学, 1979, (3), 293.
4. 周国城. 生物化学与生物物理学报, 1979(3): 79.
5. 田巨平. 生物医学物理研究, 武汉大学出版社, 1990, 18.
6. 田巨平. 酶-底物结合反应动力学 I, 未发表.

水螅形态发生模型的球对称定态结构

田巨平(江汉石油学院)

Gierer—Meinhardt 模型^[1-4]

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \rho + \frac{a^2}{h} - \mu a + \Delta a$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = a^2 + D\Delta h$$

至今未曾见到过三维解的结构的报道。本文给出了球对称三维定态解。

作变换 $a = a_* + x, h = h_* + y$ 后,有

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial t} \\ \frac{\partial y}{\partial t} \end{bmatrix} = L \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g \\ x^2 \end{bmatrix}$$

这里

$$L = \begin{bmatrix} \mu(\frac{2}{\rho+1} - 1) + \Delta & -\frac{\mu^2}{(\rho+1)^2} \\ \frac{2}{\mu}(\rho+1) & -1 + D\Delta \end{bmatrix}, g = \frac{(x - \frac{\mu}{\rho+1}y)^2}{(\frac{\rho+1}{\mu})^2 + y}$$

故有分枝点

$$\rho_c = \frac{2\mu D\pi^2/R^2}{(1 + D\pi^2/R^2)(\mu + \pi^2/R^2)} - 1$$

在 ρ_c 附近用小参数 ε 展开

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^n \varepsilon^i \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}, \quad \rho - \rho_c = \sum_{i=1}^n \varepsilon^i \rho_i, \quad g = \sum_{i=1}^n \varepsilon^i g_i, \quad L - L_c = \sum_{i=1}^n L_i$$

注意应用 Fredholm 择一定理^[5,6],进行冗长的运算后,有准至二级近似下定态球对称解

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \varepsilon \begin{bmatrix} 1 \\ F_1 \end{bmatrix} j_0\left(\frac{k\pi r}{R}\right) + \varepsilon^2 \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} f_i \\ g_i \end{bmatrix} j_0\left(\frac{k\pi r}{R}\right)$$

式中

$$F_1 = [\mu(2C - 1) - \pi^2/R^2]\mu^{-2}C^{-2}, C^{-1} = \rho_c + 1$$

$$f_1 = M \left\{ \left[1 + D\left(\frac{k\pi}{R}\right)^2 \right] \alpha_0 - \frac{1}{2} \mu^2 C^2 \left[\mu(2C - 1) - \left(\frac{k\pi}{R}\right)^2 \right] \beta_1 \right\}$$

$$g_1 = M \left\{ \frac{2}{\mu C} \alpha_0 - \left[\mu(2C - 1) - \left(\frac{k\pi}{R}\right)^2 \right] \beta_1 \right\}$$

$$M^{-1} = \left[\mu(2C - 1) - \left(\frac{k\pi}{R}\right)^2 \right] \left[1 + D\left(\frac{k\pi}{R}\right)^2 - 2\mu C \right]$$

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \end{bmatrix} = 2\gamma_1 \begin{bmatrix} \mu C(\mu C F_1 - 1) \\ \frac{1}{\mu} \end{bmatrix} + I_1 \frac{2\pi^2}{R^3} \begin{bmatrix} \mu C^2(1 + \mu^2 C^2 F_1^2 - 2\mu C F_1) \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \alpha_k \\ \beta_k \end{bmatrix} = \frac{2k^2\pi^2}{R^3} I_k \begin{bmatrix} \mu C^2(1 + \mu^2 C^2 F_1^2 - 2\mu C F_1) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (k = 2, 3, 4, \dots)$$

$$\gamma_1 = \frac{[S_1(3\pi) - 3S_1(\pi)][F_2 + \mu C^2(\mu^2 C^2 F_1 - 2\mu(F_1 + 1))]}{4\pi[\frac{F_2}{\mu} - \mu C(1 - \mu C^2 F_1)]}$$

$$F_2 = -\frac{1 + D\pi^2/R^2}{\mu^2 C^2},$$

$$I_k = \int_0^R r^2 J_k(\frac{\pi}{R}r) j_k(\frac{k\pi}{R}r) dr \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

参 考 文 献

1. Haken, H. Synergetics. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1978.
2. Gierer, A. Meinhardt, M., Biological pattern formation involving lateral inhibition. Lectures on Mathematics in the Life Sciences 7, 1974, (163).
3. Meinhardt, H. Gierer, A., Applications of a theory of biological pattern formation based on lateral inhibition. J. Cell. Sci 15, 1974, (321).
4. Meinhardt, H., preprint, 1976.
5. Nicolis G. Prigogine I. Self-organization in Nonequilibrium System. John Wiley and Sons. 1977.
6. 张纪岳, 郭治安. 物理学报, 1983, 12.

水螅形态发生模型的球对称含时解

田巨平(江汉石油学院)

本文求出了 Gierer—Meinhardt 模型的含时解。对于方程^[1,2]

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial t} \\ \frac{\partial y}{\partial t} \end{bmatrix} = L \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g \\ 0 \end{bmatrix}$$

当 $\bar{\mu}_m = 2\mu \left[1 + \mu + \frac{m^2 \pi^2}{R^2} (D+1) \right]^{-1} - 1$ 时, 纯虚本征值为 $i\omega_m$

$$\mu_m = 2 \left[\mu + \frac{m^2 \pi^2}{R^2} (1 - D) - \frac{D^2 m^4 \pi^4}{R^4} \right]^{\frac{1}{2}}$$

令

$$L = L_m = \sum_j e^j L_{0j}; \quad \rho = \bar{\rho}_m = \sum_k e^k \rho_k; \quad \omega = \mu_m = \sum_l e^l \omega_l; \quad g = \sum_i e^i g_i;$$

$\frac{\partial}{\partial \tau} = \omega \frac{\partial}{\partial \tau}$, 于是有各级方程

$$\left(\mu_m \frac{\partial}{\partial \tau} - L_m \right) \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^{m-1} \left(L_{0i} - \omega \frac{\partial}{\partial \tau} \right) \begin{bmatrix} x_{m-i} \\ y_{m-i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_m \\ f(x_m) \end{bmatrix}$$

以 $m=1$ 为例, 应用 Fredholm 择一定理^[3,4]

$$\langle (x^-, y^+), (\mu_m \frac{\partial}{\partial \tau} - L_m) \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix} \rangle = 0$$

经过冗长的运算, 可得准至二级近似下的时间周期解:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = e^{\left[\frac{2}{\mu C} \rho \cos(\tau + \theta) \right]} j_0 \left(\frac{\pi}{R} r \right) + e^{\left[\sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{a_n + \tilde{a}_n \cos(2\tau + \psi_n)}{b_n + \tilde{b}_n \cos(2\tau + \varphi_n)} \right] \right]} j_0 \left(\frac{k\pi}{R} r \right)$$

其中

$$e = \pm \sqrt{\frac{\rho - \rho_c}{\gamma^2}}, \quad \rho^{-1} = \left[(1 + D(\frac{\pi}{R})^2)^2 + \mu_1^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad \sin \theta = \mu_1 \rho$$

$$a_n = \frac{(k\pi)^2}{R^2} I_n \frac{4\rho(\cos \theta - \rho)}{AB - 2C},$$

$$b_n = \frac{(k\pi)^2}{BR^2} I_n \left[1 + \frac{4\rho(\cos \theta - \rho)}{\mu C(AB - 2C)} \right]$$

$$\tilde{a}_z = \frac{(k\pi)^2}{R^3} I_4 T \left\{ \left(T_1 \mathcal{A}_2 + T_3 \mathcal{A}_1 \right)^2 + \frac{1}{4\mu_1^2} \right. \\ \left. \left[\frac{2(\mathcal{A}_1 T_4 + T_2 \mathcal{A}_2)}{\mu C} + B(T_3 \mathcal{A}_1 + T_1 \mathcal{A}_2) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\tilde{b}_s = \frac{(k\pi)^2}{R^3} I_4 T \left[\left(T_1 \mathcal{J}_1 + T_2 \mathcal{J}_2 \right)^2 + \frac{1}{4\mu_1^2} U \right. \\ \left. + A(T_4 \mathcal{J}_1 + T_3 \mathcal{J}_2) + \mu^2 C^2 (T_3 \mathcal{A}_1 + T_1 \mathcal{A}_2) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\psi_K = \arcsin \Big[\frac{(k\pi)^2 T}{R^3 \tilde{a}_s} (T_3 \mathcal{A}_1 + T_1 \mathcal{A}_2) \Big],$$

$$\varphi_K = \arcsin \Big[\frac{(k\pi)^2 T}{R^3 \tilde{b}_s} (T_4 \mathcal{J}_1 + T_3 \mathcal{J}_2) \Big],$$

$$U=4\mu C^2\rho[\sin\theta+\sin2\theta]$$

$$V=\mu C^2[1+4\rho\cos\theta+4\rho^2\cos2\theta]$$

$$A=\mu(2C-1)-(\frac{k\pi}{R})^2\qquad B=1+D(\frac{k\pi}{R})^2$$

$$T_1=\frac{1}{2\mu_1}(2C-A),\qquad T_3=\frac{\mu C^2}{2\mu_1}(A\mu-B),\qquad T_2=\frac{B-A}{\mu_1\mu C},$$

$$T_4=\frac{1}{2\mu_1} [2\mu C-B^2],\qquad T^{-1}=T_2T_3-T_1T_4$$

$$\mathcal{A}_1=V-\frac{AU}{2\mu_1},\qquad \mathcal{A}_2=1+\frac{U}{\mu\mu_1C}$$

$$\gamma_1=0,\qquad \omega_1=0$$

$$\gamma_2=\frac{\pi_1\Omega_1-\pi_2\Omega_1}{\Gamma_2\Omega_1-\Gamma_1\Omega_2},\qquad \omega_2=\frac{\Gamma_1\pi_2+\Gamma_2\pi_1}{\Gamma_1\Omega_2-\Gamma_2\Omega_1}$$

$$\Omega_1=1-2C\rho^2\sin\theta,\qquad \Omega_2=-2C\rho^2\cos2\theta$$

$$\Gamma_1=4\mu C^2\rho+2C^2\rho\sin\theta,\qquad \Gamma_2=2C^2[2\mu\rho-\mu\rho\cos\theta]$$

$$\pi_1=-\langle \frac{2\rho}{\mu C}+2\mu C^2\rho\rangle\sin\theta\sum (a_k+\frac{1}{2}\tilde{a}_k\cos\psi_k)J_k+[\mu^2C^2+\frac{\rho}{\mu C}\cos\theta$$

$$\begin{aligned}
& -\mu C^2 \rho \cos \theta] \sum \bar{a}_k \sin \varphi_k J_k - 4\mu^2 C^3 \rho \sin \theta \sum (b_k + \frac{1}{2} \bar{b}_k \cos \varphi_k) J_k \\
& + (2\mu^2 C^2 \cos \theta - \mu C) \sum \bar{b}_k \sin \varphi_k - 6\mu C \rho - 16\mu^2 C^2 \rho^2 \\
& \cdot \left[\rho \left(1 + \frac{1}{2} \cos 2\theta \right) - \frac{3}{2\mu C} \cos \theta \right] \\
\pi_2 = & \left[2\mu^2 C^2 + \frac{2\rho}{\mu C} \cos \theta - 2\mu C^2 \rho \cos \theta \right] \sum (a_k + \frac{1}{2} \bar{a}_k \cos \varphi_k) J_k \\
& + \left(\frac{\rho}{\mu C} + \mu C^2 \rho \right) \sin \theta \sum a_k \sin \varphi_k J_k + (4\mu^3 C^3 \rho \cos \theta - 2\mu C) \\
& \sum (b_k + \frac{1}{2} \bar{b}_k \cos \varphi_k) J_k + 2\mu^3 C^3 \rho \sin \theta \sum \bar{b}_k \sin \varphi_k J_k
\end{aligned}$$

$$J_k = \frac{2\pi^2}{k^3} I_k$$

参 考 文 献

1. Haken, H., Synergetics. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1978.
2. 田巨平等. 球对称 Gierer-Meinhardt 模型的定态结构, 未发表.
3. Nicolis G, Prigogine I. Self-organization in Nonequilibrium System. John Wiley and Sons, 1977.
4. 田巨平. 江汉石油学院学报, 1990(4), 81.

一类形态发生模型的线性稳定性分析

田巨平(江汉石油学院)

对于 Gierer—Meinhardt 模型,已有不少研究^[1-4]。由于导出 G. M. 方程组时有某种任意性^[1]。故本文作了如下修改,使之更符合实际情况。

取激活剂的抑制率为 $-ka^2h$,抑制剂的产生率为 ca^2h 。有推广的 G. M. 方程组

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \rho - ka^2h - \mu a + D_a \Delta a$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = ca^2h - \gamma h + D_h \Delta h$$

作标度变换

$$a = \sqrt{\frac{\mu}{c}} X; \quad h = \frac{\sqrt{\mu c}}{k} Y, \quad t = \frac{t}{\mu}; \quad D_1 = \gamma D_a; \quad D_2 = \gamma D_h; \quad A = \frac{\gamma}{\mu}; \quad B = \frac{\rho}{\mu} \sqrt{\frac{c}{\mu}} \text{ 后, 有}$$

$$\frac{\partial X}{\partial t} = B - X^2 Y - X + D_1 \Delta X$$

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = X^2 Y - AY + D_2 \Delta Y$$

其定态解之一为

$$X_* = \sqrt{A}, \quad Y_* = \frac{B}{A} - \frac{1}{\sqrt{A}}$$

为对方程进行线性稳定性分析,作变换

$$X = X_* + x, \quad Y = Y_* + y$$

则

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial t} \\ \frac{\partial y}{\partial t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{2B}{\sqrt{A}} + D_1 \Delta & -A \\ 2\left(\frac{B}{\sqrt{A}} - 1\right) & D_2 \Delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + h \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$h = 2\sqrt{A}xy + \left(\frac{B}{A} - \frac{1}{\sqrt{A}}\right)x^2 + x^2y$$

取 Dirichlet 边界条件, $x|_{\Sigma} = y|_{\Sigma} = 0$ 并考虑长为 l 的一维空间, 则有

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \sum_{n=1}^{\infty} a_n e^{i\alpha_n} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} \sin \frac{m\pi}{l} r$$

于是有特征值

$$\omega_n^{\pm} = \frac{1}{2} \left\{ \alpha_n - \beta_n \pm \sqrt{(\alpha_n + \beta_n)^2 + 8A(1 - \frac{B}{\sqrt{A}})} \right\}$$

$$\text{其中: } \alpha_n = 1 - \frac{2B}{\sqrt{A}} - D_1 \left(\frac{m\pi}{l}\right)^2, \quad \beta_n = D_2 \left(\frac{m\pi}{l}\right)^2$$

由此可见

(I) 当 $m \rightarrow \infty$ 时, 对于有限的 $A, B, \omega_n^{\pm}$ 总是实的, 且 $\omega_n^{\pm}$ 为负值, 故 $m \rightarrow \infty$ 的那些简正模有使系

统稳定的趋势；

(II) 若 $\frac{A}{8}[T - \sqrt{T^2 - \Delta}] < B < \frac{A}{8}[T + \sqrt{T^2 - \Delta}]$, 这里

$$T = \frac{4}{\sqrt{A}} \left[1 + (D_1 + D_2) \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 + 8\sqrt{A} \right], \quad A = 128 + \frac{16}{A_1} \left[1 + (D_2 - D_1) \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 \right]$$

则 ω_m 是复的, 奇点为不稳定焦点;

(III) 若 $B > \frac{\sqrt{A}}{2} \left[1 - (D_1 + D_2) \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 \right]$, 则复本征值具有正实部, 对应于 m 的整数值的曲线

$\tilde{B}_m = \frac{\sqrt{A}}{2} \left[1 - (D_1 + D_2) \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 \right]$ 上的点必是时间周期解的歧点;

(IV) 若 $B < \left[2A + D_2 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 - D_1 D_2 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^4 \right] \left[2 \left(\sqrt{A} + \frac{D_2}{\sqrt{A}} \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 \right) \right]^{-1}$ 则实的 ω_m 可以有一正根, 对应于 m 的整数值的曲线

$B_m = \left[2A + D_2 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 - D_1 D_2 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^4 \right] \left[2 \sqrt{A} + \frac{D_2}{\sqrt{A}} \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 \right]^{-1}$ 上的点必是定态解的歧点。

参 考 文 献

1. Haken, H., Synergetics. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1978.
2. Gierer, A., Meinhardt, M., Biological pattern formation involving lateral inhibition. Lectures on Mathematics in the Life Sciences, 19974, (7), 163.
3. Meinhardt, H., Gierer A., Applications of a theory of biological pattern formation based on lateral inhibition. J. Cell. Sci. 15, 1974, 321.
4. Meinhardt, H., Preprint, 1976.
5. 田巨平等. 球对称 Gierer—Meinhardt 模型的定态结构, 未发表.
6. 田巨平等. 球对称 Gierer—Meinhardt 模型的定态结构, 未发表.